

# **DER PHYSIKUNTERRICHT ALS MODE- RIERTER DIALOG**

## **(2. TEIL)**

**KLAUS ALBRECHT**

***Reithmannngymnasium Innsbruck***

Innsbruck, 2003

# Der Physikunterricht als moderierter Dialog (2. Teil)

## Darstellung und Evaluierung der Unterrichtsmethode

Klaus Albrecht

*Reithanngymnasium Innsbruck*

Verschiedene Arrangements zeigten mir, dass Fachdiskussionen im Klassenverband (alle Schüler einer Klasse erarbeiten im Sinne einer konstruktivistischen Lerntheorie unter der Leitung des Lehrers ein Thema der Physik) ineffizient sind. Der Physikunterricht als moderierter Dialog überwindet dieses Defizit und schafft eine Klassenraumatmosfera, in welcher fachliche Auseinandersetzungen zwischen dem Lehrer und einigen wenigen Schülern (ca. 5 Teilnehmer) während der regulären Unterrichtsstunde stattfinden können. Die Evaluierung dieser Unterrichtsmethode vergleicht die epistemologischen und fachlichen Qualifikationen von ca. 60 Schülern, wobei annähernd die Hälfte dieser Schüler mit einem Physikunterricht als moderierter Dialog konfrontiert wurden. Die Unterschiede in den fachlichen Qualifikationen erachte ich als wenig ausgeprägt, wobei allerdings allen Schülern schwerwiegende Mängel im Verständnis des Unterrichtsstoffes attestiert wurden. Die Unterschiede in den epistemologischen Daten sind zu Gunsten des Physikunterrichts als moderierter Dialog auffällig.

## EINLEITUNG

Der Physikunterricht als moderierter Dialog beabsichtigt die Schüler in fachliche Diskussionen zu verwickeln. Die Entwicklung dieser Unterrichtsform wurde im IMST<sup>2</sup> Bericht für das Schuljahr 2001/02 dokumentiert. Die Fortsetzung dieser Arbeit in diesem Bericht umfasst die Beschreibung einer „ausgereiften“ Version dieser Unterrichtsmethodik und eine Evaluierung des Unterrichtertrages. Sollte jemand (verständlicherweise) nicht das Verlangen verspüren, sich die Vielzahl von Tabellen und Grafiken meiner Evaluierungsbestrebungen anzuschauen, so kann ich meine Einsicht mit den Worten von D. Meltzer<sup>1</sup> kurz wiedergeben:

One of the results of using interactive lectures is that the instructor begins to acquire startling new insights into what the students are really getting out of a typical lecture.

**D. Meltzer**

Der Aufbau, die Vorbereitung und Nachbereitung einer Physikstunde als moderierter Dialog wird im ersten Kapitel dargestellt. Das zweite Kapitel fasst verschiedene Evaluierungen meines Unterrichtes zusammen.

## KAPITEL 1: Die Unterrichtsmethode – Physikunterricht als moderierter Dialog

There are two things which cannot be attacked in front: ignorance and narrow-mindedness. They can only be shaken by the simple development of the contrary qualities. They will not bear discussion.

**Lord Acton**

Die Methode wird an Hand der Unterrichtsgestaltung erläutert. Die Darstellung der Methode gliedert sich in Unterrichtsvorbereitung, Unterrichtsstunde und Unterrichtsnachbereitung.

### 1.1 Die Unterrichtsvorbereitung

Für eine Unterrichtsstunde muss ein Lehrer<sup>2</sup> hauptsächlich zwei Dinge vorbereiten.

- Material für den einleitenden Teil der Physikstunde und
- Arbeitsblätter für die Stillbeschäftigung.

Der einleitende Teil einer Stunde ist meinen Schülern unter dem Anglizismus „Physics for Fun“ geläufig.

### 1.1.1 „Physics for Fun“

Die Einleitung jeder Physikstunde bildet der sogenannte „Physics for Fun“ – Teil. Dieser Teil ist als ein auflockernder Einstieg in die jeweilige Physikstunde konzipiert. Die wesentlichste Auflage an diese Einleitung besteht darin, dass der Schüler diese Minuten als spektakuläre oder spannende Einheit erleben sollte. Ein Beispiel für eine solche „Physics for Fun“ Sache wäre die folgende Aktion: Der Lehrer behauptet, dass er ein Tischtuch vom Pult wegziehen kann, ohne dass die zuvor platzierten Teller und Gläser vom Tisch fallen. Nach Möglichkeit sollte dieses Experiment mit Porzellangeschirr und nicht mit Plastikgeschirr durchgeführt werden – dies trägt zur Erhöhung der Spannung bei. Da der Spaß bei dieser Einheit nicht zu kurz kommen soll, wäre es im vorliegenden Fall erstrebenswert, dass ein Schüler die Aufgabe durchführt bzw. nach der Darbietung des Lehrers das Experiment zu wiederholen versucht.

Das Interesse der Schüler an diesen Experimenten erzeugt ein angenehmes Arbeitsklima für den Unterricht. Auch schaffen die Überlegungen der Schüler zu diesen Experimenten in manchen Fällen interessante Variationen zur Intention des Lehrers. Die entspannende Wirkung des „Physics for Fun“ – Teils erhöht sich, wenn die Schüler bei diesen Experimenten aktiv beteiligt sind und die gestellte Aufgabe selbst ausprobieren können. Der Sinn dieses Einleitungsteiles umfasst mehrere Aspekte: Erstens soll dieser Teil zur Auflockerung dienen und Spaß machen. Zweitens sollen die Schüler diese „Zaubertricks“ mit erklärbarer Physik assoziieren. Drittens liefere ich den Schülern hiermit eine Fülle von physikalischen „Schlüsselbeobachtungen“, welche den Schülern im Laufe des Schuljahres als Präzedenzfälle für andere Experimente und die hiermit verknüpften Erklärungen zur Verfügung stehen.

In Zusammenhang mit dem „Physics for Fun“ – Teil hat sich die Fragestellung „Was wird passieren, wenn ...?“ (also die Aufforderung an die Schüler, das zu erwartende Ergebnis eines Experimentes vorherzusagen) als sehr effektiv erwiesen. Manche Experimente eignen sich auch, um die Schüler herauszufordern. So lässt sich mit der Fragestellung „Wer schafft es, ...?“ ebenfalls eine angenehme und angespannte Klassenraumatmosfera erzeugen. Das folgende Beispiel für eine solche Herausforderung habe ich aus dem Journal „The Physics Teacher“<sup>3</sup> entnommen:

„Hold a sheet of newspaper in your left hand, letting the sheet hang down. Can you poke your index finger through the paper? It may seem unlikely, yet it is easily done.“

Der Spaß bei der Sache kommt dann, wenn die Schüler ihre Vorschläge selbst ausführen müssen.

Im Gegensatz zum weiteren Verlauf der Unterrichtsstunde ist der Lehrer während des „Physics for Fun“ – Teils Ansprechpartner für alle Schüler. Die gesamte Klasse ist gefordert Beiträge zu liefern. Häufig kristallisieren sich aus dieser Einleitung der Physikstunde gute weiterführende Fragen heraus, für deren Behandlung man mehr Zeit benötigen würde. Bevor ich jedoch auf einzelne, spontane Fragen antworte, fordere ich die Schüler auf, ihre Fragen möglichst klar und allgemein verständlich zu formulieren. Ähnliche Fragen werden in diesem Schritt zusammengefasst und präzisiert. Sind viele Schüler an der Aufklärung einer bestimmten Frage interessiert, bin ich meistens bereit, Unterrichtszeit für eine kurze Erörterung mit allen Schülern zu verwenden. Im üblichen Fall beschleunige ich diese Erörterungen, in dem ich verstärkt mein Fachwissen einbringe. In der englischsprachigen Fachliteratur wird für diese kurzen Lehrimpulse häufig die Bezeichnung „mini-lessons“ verwendet. In diesem Sinne gebraucht S. Cowey<sup>4</sup> den Ausdruck in einem Artikel über Konstruktivismus im Unterricht:

I felt that many of the issues were best addressed in a one-to-one conference with the student, but some were clearly topics for mini-lessons to benefit the whole group.

**S. Cowey**

Kurze Lehreinheiten dieser Art sind aber im Allgemeinen die Ausnahme in meiner Einleitung einer Physikstunde. Üblicherweise interessieren sich nur einige Schüler für einen bestimmten Sachverhalt, und dann verweise ich diese Schüler auf den nachfolgenden Teil der Unterrichtsstunde – dies ist der „moderierte Dialog“ mit ausgewählten Schülern. Am Diskussionstisch mit nur wenigen Schülern bin ich bereit, tiefer auf die Überlegungen und Einwände einzelner Schüler einzugehen. Während dessen arbeitet ein Großteil der Klasse an einer Stillbeschäftigungsaufgabe.

Trotz des spektakulären Charakters dieses „Physics for Fun“ – Teils muss die Teilnahme der Schüler durch Schaffung eines Notenanreizes verstärkt werden. Einzelheiten über die Umsetzung des Notendruckes findet man im Abschnitt 1.3 (Unterrichtsnachbereitung).

Den besten Einblick in den Charakter dieser Stundeneröffnung erhält man bei der Durchsicht zweier „Physics for Fun“ – Ideen im Anhang A. Die von mir angeführten Beispiele für „Physics for Fun“ – Einstiege wurden mit einem „Aufwandindex“ versehen, der einen Richtwert für die notwendige Vorbereitungszeit liefert. Der verwendete „Aufwandindex“ sieht folgende Kategorien vor:

- A ..... Keine Materialien notwendig
- B ..... Material in üblicher Schulsammlung vorhanden
- C ..... Beschaffung der Materialien einfach möglich (Haushaltsgegenstände)

D..... Vorbereitungsarbeiten notwendig

Da der Lehrer für jede Unterrichtsstunde eine "Physics for Fun" – Idee benötigt, sind umfangreiche Ressourcen sehr hilfreich. Im Folgenden verweise ich auf Quellen, die ich für die Vorbereitung dieser Unterrichtseinstiege herangezogen habe:

Bücher:

- Conceptual Physics Laboratory Manual, von Paul Robinson<sup>5</sup>
- Apparatus for Teaching Physics, herausgegeben von Karl C. Mamola<sup>6</sup>
- String & Sticky Tape Experiments, von R. D. Edge<sup>7</sup>
- A Demonstration Handbook for Physics, von G. D. Freier und F. J. Anderson<sup>8</sup>
- Clouds in a Glass of Beer – Simple Experiments in Atmospheric Physics, von Craig F. Bohren<sup>9</sup>
- Turning the World Inside Out and 174 other simple Physics Demonstrations, von Robert Ehrlich<sup>10</sup>
- Why Toast Lands Jelly-Side Down, von Robert Ehrlich<sup>11</sup>
- The World of Physics – Mysteries, Magic & Myth, von John W. Jewett<sup>12</sup>

Internetadressen:

- The Exploratorium Institute for Inquiry unter der Adresse:  
<http://www.exploratorium.edu/snacks/index.html>
- Physics Instructional Resource Association, Homepage at Wake Forest University:  
<http://www.wfu.edu/physics/pira/pira200/pira200.htm>

Die folgenden Kriterien können für die Auswahl von "Physics for Fun" – Ideen herangezogen werden:

- Der Versuch ist spektakulär und reizvoll.
- Das Vorhaben ist einfach und klar ersichtlich (es sind keine komplizierten Versuchsanordnungen notwendig).
- Das Experiment lässt sich schnell aufbauen und einfach wiederholen.
- Der Aufbau nützt alltägliche Gegenstände – interessierte Schüler könnten den Versuch zu Hause leicht wiederholen.

Ein gutes "Physics for Fun" – Experiment muss nicht notwendigerweise alle oben angeführten Kriterien erfüllen.

## **1.1.2 Arbeitsblätter für die Stillbeschäftigung**

Nachdem der Einleitungsteil der Physikstunde ("Physics for Fun") vorüber ist, wird sich ein Großteil der Schüler während der restlichen Unterrichtszeit still beschäftigen. Hierzu teilt der Lehrer Arbeitsblätter aus. Der Arbeitsauftrag für die Stillbeschäftigung ist ein Bestandteil der Unterrichtsmethode und bleibt für jede Unterrichtsstunde gültig. Im Detail liest sich dieser Auftrag an die Schüler wie folgt:

- Lese den Text.
- Finde eine Frage, die in einem Zusammenhang mit dem Text steht.
- Formuliere eine Antwort auf deine Frage. Diese Antwort ist deiner Meinung nach richtig.
- Formuliere eine zweite Antwort auf deine Frage. Diese Antwort ist deiner Meinung nach falsch.
- Begründe, warum die richtige Antwort richtig und die falsche Antwort falsch ist.

Zusätzlich werden die Schüler motiviert, auch jene Fragen auf ihrem Arbeitsblatt festzuhalten, für die sich interessieren aber keinerlei Antworten finden können. Jedem Schüler muss bewusst sein, welche Aufgaben während der Stillbeschäftigung verlangt werden. Der Lehrer muss für jede Unterrichtsstunde ein Arbeitsblatt vorbereiten, damit die Schüler in der Stillbeschäftigungszeit den Arbeitsaufträgen nachgehen können. Der Text für ein typisches Arbeitsblatt umfasst weniger als 500 Wörter und ist als ein Frage – Antwort Paar formuliert.

Im Folgenden führe ich ein Beispiel für ein Stillbeschäftigungsarbeitsblatt an. Das ausgewählte Beispiel stammt von Louis A. Bloomfield, Professor für Physik an der University of Virginia, und ist unter der Internetadresse <http://howthingswork.virginia.edu/> frei zugänglich. Diese Internetressource bietet eine umfassende Sammlung von Fragen und entsprechenden Antworten quer durch die Gebiete der Physik. Die Auswahl verschiedener Themenbereiche ist einfach bedienbar (Questions and Answers by Topic: Air Conditioners; Airplanes; Audio Amplifiers; Automobiles; Balloons, Ball, Birdies and Frisbees; Bicycles; Bouncing Balls, ...). Es besteht auch die Möglichkeit, diese Datenbank nach bestimmten Schlüsselwörtern zu durchsuchen (Search by Keyword). Ich wähle für die Erstellung eines Arbeitsblattes meist ein Themengebiet der Physik aus (Questions and Answers by Topic) und durchsuche diese Sammlung dann nach interessanten Fragestellungen.

**I was recently riding as a passenger in a van and there was a housefly buzzing around in the van. While trying to squash the fly, I was wondering why was the fly traveling the same speed as the van at 70 mph as it was hovering in mid air. Shouldn't it have smashed into the rear window of the van just like so many bugs would have been, on the grill of the vehicle??**

Flies travel at modest speeds relative to the air that surrounds them. Since the outside air is nearly motionless relative to the ground (usually), a fly outside the van is also nearly motionless. When the fast-moving van collides with the nearly motionless fly, the fly's inertia holds it in place while the van squashes it.

But when the fly is inside the van, the fly travels about in air that is moving with the van. If the van is moving at 70 mph, then so is the air inside it and so is the fly. In fact, everything inside the van moves more or less together and from the perspective of the van and its contents, the whole world outside is what is doing the moving--the van itself can be considered stationary and the van's contents are then also stationary.

As long as the fly and the air it is in are protected inside the van, the movement of the outside world doesn't matter. The fly buzzes around in its little protected world. But if the van's window is open and the fly ventures outside just as a signpost passes the car, the fly may get creamed by a collision with the "moving" sign. Everything is relative and if you consider the van as stationary, then it is undesirable for the van's contents to get hit by the moving items in the world outside (passing trees, bridge abutments, or oncoming vehicles).

Meine Unterrichtsmethode sieht vor, dass die Erstellung der Arbeitsblätter ca. 15 Minuten in Anspruch nimmt. Diese Forderung setzt die Kenntnis guter Quellen für entsprechende Vorlagen voraus. Üblicherweise erfordern meine Recherchen für Arbeitsblätter einen Computerarbeitsplatz mit Internetzugang. Für eine effiziente Aufbereitung der Blätter ist es notwendig, dass an diesem Computerarbeitsplatz auch ein Drucker verfügbar ist. Sind diese Voraussetzungen gegeben, ergeben sich für die Erstellung der Blätter folgende Arbeitsschritte:

- Öffnen der gewünschten Internetseite, z.B. <http://howthingswork.virginia.edu/>
- Auswahl eines Themas (Search by Topic), z.B. electric power distribution
- Auswahl einer interessanten Fragestellung
- Markieren des Textes (Frage und Antwort)
- Drucken des Textes in der gewünschten Anzahl von Kopien

Bei disziplinierter Handhabung ist es mir möglich, meine Vorgabe von 15 Minuten für die Erstellung der Arbeitsblätter ohne Stress einzuhalten. Gebe ich mir selbst allerdings keinen zeitlichen Rahmen vor, so verweile ich häufig länger bei den gefundenen Texten, als es für die Vorbereitung des Unterrichts notwendig wäre. Diese ausgedehnten Recherchen sind zeitlich nicht repräsentativ.

Die Vertrautheit mit einer Internetseite verkürzt mit Sicherheit die erforderliche Zeit zur Erstellung der Blätter. So arbeite ich im wesentlichen mit nur zwei Bezugsquellen. Mit wenigen Ausnahmen stammen meine Stillbeschäftigungsblätter von den folgenden Quellen:

- How Things Work – Internetadresse, eingerichtet von L. A. Bloomfield: <http://howthingswork.virginia.edu/>
- ScienceNet – Internetadresse, Datenbank mit Fragen und Antworten aus Physik und Astronomie: <http://www.sciencenet.org.uk/Resources/physresources.html>

Vereinzelte greife ich auf Bücher zurück, um die Stillbeschäftigungsblätter für den Unterricht vorzubereiten. Für diesen Zweck würden sich folgende Bücher eignen:

- What If...? – Intriguing Answers for the Insatiably Curious, herausgegeben von Marshall Brain.<sup>13</sup>
- Next-Time Questions to accompany Conceptual Physics von Paul G. Hewitt.<sup>14</sup>
- Physikpuzzles (Mechanikpuzzle, Wellenpuzzle, Optikpuzzle) von Martin Apolin.<sup>15, 16, 17</sup>
- The flying Circus of Physics with Answers von Jearl Walker<sup>18, 19</sup>
- Thinking Physics – Practical Lessons in Critical Thinking von Lewis C. Epstein.<sup>20</sup>
- The World of Physics – Mysteries, Magic & Myth von John W. Jewett.<sup>21</sup>

Die zitierten Quellen zeigen, dass der überwiegende Teil meiner Vorlagen in englischer Sprache abgefasst ist. Da ich jedoch Physik bilingual unterrichte, stellt der englische Text auf den Arbeitsblättern kein Hindernis dar. Erstellt ein Lehrer das Arbeitsmaterial selbst, so würde sich die Vorbereitungszeit selbstverständlich vervielfachen. Die wiederholte Nutzbarkeit der vorbereiteten Blätter und die Autonomie in der Gewichtung einzelner Themen im Unterricht kann diesen Aufwand allerdings rechtfertigen.

Andererseits kann der Lehrer auf fertig ausgearbeitete Arbeitsblätter von bereits veröffentlichten Sammlungen zurückgreifen. Jedoch sind diese Arbeitsblätter für die Schüler im Allgemeinen nicht mit den von mir geforderten Aufgaben für die Stillbeschäftigung („formuliere eine Frage, finde eine richtige und eine falsche Antwort auf deine Frage, ...“) kompatibel. Dennoch sei auf dieses Arbeitsmaterial hingewiesen, da die Unterrichtsmethode – Physikunterricht als moderierter Dialog – auch mit diesen modifizierten Arbeitsaufträgen für die Stillbeschäftigung der Schüler einzurichten ist. Die folgenden Arbeitsbücher würden sich meiner Meinung nach für die Stillbeschäftigung der Schüler gut eignen:

- Minds On Physics – Activities & Reader der UMass Physics Education Research Group (W. J. Leonard, R. J. Dufresne, W. J. Gerace, J. P. Mestre).<sup>22, 23, 24</sup>
- Ranking Task Exercises in Physics von T. L. O’Kuma, D. P. Maloney, C. J. Hieggelke.<sup>25</sup>
- Practicing Physics to accompany Conceptual Physics von P. G. Hewitt.<sup>26</sup>
- ActivPhysics Workbook von A. Van Heuvelen, P. D’Alessandris.<sup>27, 28</sup>

Ein Nachteil dieser vorgefertigten Arbeitsblätter ergibt sich dadurch, dass die Materialien nicht alle im Lehrplan vorgesehenen Gebiete der Physik (Mechanik, Aufbau der Materie, Wärme, Optik, Elektrizität, ...) abzudecken vermögen. Zudem ist das Material nicht immer umfangreich genug, um für jede Physikstunde ein Arbeitsblatt vorzusehen.

Eine Durchsicht der oben genannten Literatur zur Bereitstellung der Arbeitsblätter zeigt, dass den laborbasierten Arbeitsaufträgen – wie zum Beispiel dem Material von L. McDermott, “Physics by Inquiry”<sup>29</sup> – keine Bedeutung in meinem Unterricht zukommt. Dies liegt daran, dass für die geringe Unterrichtszeit, die nach dem “Physics for Fun” – Teil noch verbleibt, ein Laborbetrieb nicht praktikabel ist. Für Laborunterrichtsstunden (mehrere Stunden in einem Stück) ist das Unterrichtsmaterial von L. McDermott allerdings sehr wertvoll.

Bei der Erstellung der Stillbeschäftigungsblätter gibt es nur ein wichtiges Kriterium zu beachten: Es gilt das Schülerinteresse zu gewinnen. Schülerrückmeldungen aus meinen Physikklassen bestätigen in dieser Hinsicht die Brauchbarkeit der bereits angeführten Internetadressen.

<http://howthingswork.virginia.edu/>

<http://www.sciencenet.org.uk/Resources/physresources.html>

Die beiden folgenden Beispiele für Arbeitsblätter zur Stillbeschäftigung der Schüler sollen den Charakter dieser Unterlagen widerspiegeln. Zudem wollte ich mit diesen Beispielen demonstrieren, dass der oft angeführte Alltagsbezug für Unterrichtsunterlagen nicht notwendigerweise die Auswahlkriterien für gute Materialien dominieren sollte. Die ausgewählten Beispiele knüpfen mit Sicherheit nicht an die Erfahrungswelt der Schüler an, dennoch finden viele Schüler die Fragestellungen interessant.

Ein Beispiel für ein Arbeitsblatt für die Stillbeschäftigung der Schüler:

What if I fell out of an airplane without a parachute?

You know it's going to be a bad day when you find yourself falling through the air without a parachute! But let's say that, somehow, you were to fall out of an airplane and find yourself that exact situation. The first thing to keep in mind is that you have to think fast. If you fall out at 12,000 feet (about 2.2 miles or 3.6 km up), you only have about 60 seconds before you hit the ground. In free fall, you fall at about 125 miles per hour (200 km/h) if you have your arms and legs extended, and at that speed you will travel about 12,000 feet in one minute.

The first thing to do is to look for a body of water. Diving into water won't feel good at 125 mph, but you will survive if the water is deep enough – at least 12 feet deep or so. Steer toward the water (its helpful if you've been skydiving before and know how to steer as you're falling) and dive right in. If you don't know how deep it is, go feet first just in case.

If there's no water around then you need to try something else. One person in World War II survived a jump without a parachute from about 18,000 feet. He fell through the branches in a pine thicket and landed in deep snow. So you might try looking for some trees and hope for the best.

Lacking water or trees – for example, you're falling in an urban area and can't spot a rooftop pool – your next option is to look for something big with the hope that it will break your fall.

Landing on the roof of an RV, a mobile home, or a truck's trailer is a possibility. These structures are not extremely strong. When you hit them, they will break and absorb some of the energy of the fall.

Whether it will be enough energy or not is an open question. There's only one way to find out – but we don't recommend trying it.

Ein weiteres Beispiel für ein Arbeitsblatt:

What if an astronaut went on a spacewalk without wearing a spacesuit?

The current spacesuit that is used for spacewalking from the shuttle and International Space Station is called the Extravehicular Mobility Unit, or EMU. Because an earth-like environment is created within the suit itself, a spacesuit allows you to walk around in space in relative safety. Spacesuits provide

- Pressurized atmosphere - The spacesuit provides air pressure to keep the fluids in your body in a liquid state - in other words, to prevent your bodily fluids from boiling. The pressure in the suit is much lower than normal air pressure on earth (4.3 versus 14.7 psi) so that the suit doesn't balloon and so that it is as flexible as possible.
- Oxygen - Spacesuits must supply pure oxygen, because of the low pressure. Normal air - 78% nitrogen, 21% oxygen, and 1% other gases - would cause dangerously low oxygen concentrations in the lungs and blood at this low pressure.
- Regulated temperature - To cope with the extremes of temperature in space, most spacesuits are heavily insulated with layers of fabric (Neoprene, Gore-Tex, Dacron) and covered with reflective outer layers (Mylar or white fabric) to reflect sunlight.
- Protection from micrometeoroids - Spacesuits have multiple layers of durable fabrics such as Dacron or Kevlar. These layers prevent the suit from tearing on exposed surfaces of the spacecraft. Outer space is an extremely hostile place. If you were to step outside a spacecraft such as the International Space Station or onto a world with little or no atmosphere, such as the moon or Mars, and you weren't wearing a spacesuit, here's what would happen:
  - You would become unconscious within 15 seconds because there is no oxygen.
  - Your blood and body fluids would boil and then freeze, because there's little or no air pressure.
  - Your tissues (skin, heart, other internal organs) would expand because of the boiling fluids.
  - You would face extreme changes in temperature:
    - Sunlight: 248° Fahrenheit (120° Celsius)
    - Shade: -148°F (-100°C)
- You would be exposed to various types of radiation, such as cosmic rays, and charged particles emitted from the sun (solar wind).
- You could be hit by small particles of dust or rock that move at high speeds (micrometeoroids) or orbiting debris from satellites or spacecraft. The human body could tolerate a complete vacuum for a few seconds at the most. So the scene in 2001: A Space Odyssey where Dave ejects from the pod into the vacuum of space and dives for the space station - that might actually work- But beyond a few seconds, things would get ugly fast.

Der „Lehr – Rohstoff“ für meine Unterrichtsmethode steckt in diesen Arbeitsblättern. Diese Texte ersetzen den Lehrervortrag. Die Raffination dieses Rohstoffes findet in den Diskussionen mit dem Lehrer statt. Die Teilnehmerzahl dieser Diskussionsgruppen ist auf ca. 5 Schüler limitiert. Somit kann der Lehrer seine fachliche Kompetenz individueller und fokussierter an die Schüler richten als dies in einer üblichen Unterrichtsstunde für ca. 30 Schüler möglich ist.

Ich kann mir vorstellen, dass manche Physiklehrer in diesem Potpourri von Fragen und Antworten keinen systematischen (klassischen) Aufbau der Physik orten können. Ich vermeide diesen linearen Aufbau ganz bewusst. Mein Unterricht folgt mehr einer Schraubenlinie – immer wieder begegnen wir ähnlichen Fragestellungen (zum Beispiel zum Themengebiet „Studium der Bewegung von Objekten unter dem Einfluss von verschiedenen Kräften“), aber ich schraube mich mit den Schülern gemeinsam immer tiefer in die Materie hinein. A. Arons<sup>30</sup> ver-



wendet in diesem Zusammenhang den Begriff "cycling back". Ich bin überzeugt, dass die vorgestellte Methode nicht von der Gangart im Unterricht (linear: am klassischen Aufbau orientiert vs. stets zurückkehrend: an den Fragen und Antworten – Paaren orientiert) abhängt. Die Stillbeschäftigungsblätter lassen sich durchaus mit konservativen Lehrinhalten füllen. Eine gute Quelle für die Erstellung von traditionellen, strukturierten Arbeitsblättern findet man ebenfalls im Internet unter der folgenden Internetadresse (diese Internetseite ist nach dem Muster sogenannter „Concept Maps“ aufgebaut):

- HyperPhysics, erstellt von C. R. Nave, Georgia State University:  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>

Falls in einer Klasse computerunterstützter Unterricht möglich ist (zum Beispiel in „Laptopklassen“), eignen sich die folgenden Ressourcen für Stillbeschäftigungsarbeiten:

- ExploreScience, "an interactive learning experience," die angebotenen Aktivitäten sind thematisch gegliedert: Mechanics, Wave Motion, E & M, ...  
<http://www.explorescience.com>
- COACH 5, CMA (Centre for Microcomputer Applications) Software,  
<http://www.cma.science.uva.nl/english/index.html>

Es sei darauf hingewiesen, dass die Arbeitsaufträge der Schüler für diese computerunterstützte Stillbeschäftigung neu definiert werden müssen. Insbesondere muss der Lehrer einen Weg finden, um die Unklarheiten der Schüler, welche aus den Stillbeschäftigungsarbeiten resultieren, in die Privatdiskussionen mit dem Lehrer zu speisen.

Für die COACH 5 Software muss der Lehrer zusätzlich eine ausgedehnte Einführung in das Programm einplanen.

Unabhängig davon, welche Ressourcen der Lehrer für die Unterrichtsvorbereitung heranzieht, stets müssen für jede Physikstunde als moderierter Dialog ein Unterrichtseinstieg („Physics for Fun“) und ein Stillbeschäftigungsarbeitsauftrag (Arbeitsblätter) für die Schüler vorbereitet werden.

## 1.2 Die Unterrichtsstunde

Der Lehrer muss für jede Physikstunde bestimmte Voraussetzungen schaffen. Ist die folgende Checkliste für die jeweilige Unterrichtsstunde abgehakt, dann kann der Unterricht beginnen.

### C H E C K L I S T E:

- ☐ Schülerliste mit Aufzeichnungen über den erzielten Punktegewinn in der vorangegangenen Stunde.
- ☐ Vorbereitung für „Physics for Fun.“
- ☐ Arbeitsblätter für die Stillbeschäftigung.
- ☐ Themenvorschlag und Teilnehmerliste für den Diskussionstisch.

Die Unterrichtsstunde beginnt mit einer Rückmeldung über den Punktegewinn jener Schüler, die in der vorangegangenen Stunde einen entsprechenden Beitrag geleistet haben. Nachdem der Lehrer diese Rückmeldung an die Schüler gegeben hat, beginnt der Unterricht mit dem „Physics for Fun“ – Teil. Jeder Schüler ist aufgefordert, sich an dieser Einleitung der Physikstunde zu beteiligen und seine Überlegungen hierzu einzubringen. Diese Beteiligung wird durch den Gewinn an Punkten honoriert. Die Physiknote wird durch die während eines Schuljahres erzielte Gesamtpunktezahl bestimmt. Die Mitarbeit der Schüler an „Physics for Fun“ kann eine breite Palette von Ausdrucksformen annehmen. Die folgenden Möglichkeiten kommen häufig in Unterrichtsstunden vor:

- Ein Schüler stellt eine interessante Frage in Zusammenhang mit der „Physics for Fun“ – Sache.
- Ein Schüler schlägt eine aufschlussreiche Variation des Experimentes vor.
- Ein Schüler bietet eine Vorhersage für die zu erwartende Beobachtung an.
- Ein Schüler vergleicht das Experiment mit einer früheren „Physics for Fun“ – Sache.
- Ein Schüler liefert einen vernünftigen Erklärungsansatz

und anderes mehr stellen einen relevanten Unterrichtsbeitrag dar.

Die Bezeichnung „Physics for Fun“ sollte auch für Spaß bürgen. Meine oben angeführten Ressourcen für „Physics for Fun“ – Ideen sind jedoch noch kein Garant für den Spaß. Ob eine konkrete „Physics for Fun“ – Idee die Mehrheit der Schüler langweilt oder zum Mitdenken provoziert hängt auch von der Umsetzung dieser Idee ab. Ein Klassiker unter den Experimenten zur Mechanik dient mir zur Erläuterung dieser Angelegenheit.

Ein wenig offensichtliches Beispiel für ein “Physics for Fun” Experiment:

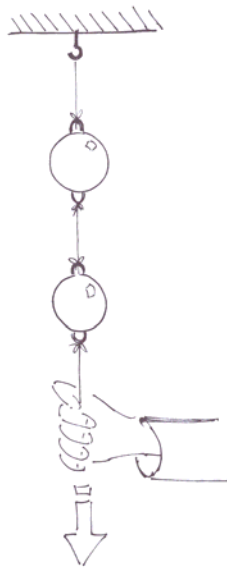


Abbildung 1: Ein Experiment zur Mechanik.

Durch eine unterschiedliche Beschleunigung der Hand, welche den Faden fest hält, kann man wahlweise den oberen oder den unteren Faden zerreißen. Führt der Lehrer das oben dargestellte Experiment einfach vor und bringt zugleich die Newton'schen Gesetze zur Anwendung, sehe ich relativ wenig Spaß in diesem Experiment. Konditioniert man aber dieses Experiment als Wette, erhöht sich die Aufmerksamkeit der Schüler. Findet sich ein Schüler, der den oberen Faden gefährdet sieht, so wettet der Lehrer sogleich 5 Euro dagegen. Findet der Lehrer zusätzlich einen Schüler, der den Bruch des unteren Fadens voraussagt, so wettet der Lehrer nochmals 5 Euro auch gegen diesen Schüler. Anschließend führt der Lehrer das Experiment exklusiv für jeden der beiden Schüler vor und gewinnt somit insgesamt 10 Euro. Der Lehrer könnte die Schüler nun herausfordern das Experiment selbstständig durchzuführen und mit etwas Glück (oder Verstand) ihr Geld wieder zurück zu gewinnen.

Der Lehrer provoziert die notwendige Wissbegierde der Schüler, indem er die unterschiedlichen Argumente der Schüler gegeneinander ausspielt. Der Schüler ist durch den eigenen „Selbstverteidigungsdrang“ und durch die sokratischen Fragestellungen des Lehrers motiviert seine Argumentation möglichst überzeugend zu formulieren. Anstatt die defekten Erklärungen zu verbessern nützt der Lehrer vielfach die fehlerhaften Überlegungen der Schüler, um hieraus logisch zwingende und dennoch absurde Schlussfolgerungen zu ziehen. Während die Schüler die Auflösung der Widersprüche in Angriff nehmen, notiert der Lehrer die Namen der hierbei maßgeblich beteiligten Schüler. Diese Kurzdiskussion eines anregenden Versuches oder einer provokativen Behauptung dürfen nicht allzu viel Unterrichtszeit beanspruchen, und so bleiben im üblichen Fall viele Fragen offen. Der weitere Verlauf der Physikstunde gewährleistet, dass diese offenen Fragen nicht für den Unterricht verloren gehen. Dennoch ist es von Vorteil, wenn sich der Lehrer gegen Ende der „Physics for Fun“ Einheit die wichtigsten unbeantworteten Schülerfragen (inklusive der Namen der Fragesteller) notiert.

Im Anschluss an den “Physics for Fun” – Teil der Unterrichtsstunde werden die Arbeitsblätter für die Stillbeschäftigung ausgeteilt. Die Mehrheit der Schüler wird nun die restliche Physikstunde eigenständig mit diesen Unterlagen arbeiten. Es sollte den Schülern möglich sein, am Ende des Unterrichts dem Lehrer ein Rückgabebblatt abzugeben. Die Arbeitsaufträge für die Schüler liste ich an dieser Stelle nochmals kurz auf:

Ein vollständig ausgearbeitetes Blatt umfasst die folgenden Teile:

- ☐ Eine gute Frage in Zusammenhang mit dem ausgeteilten Text auf dem Arbeitsblatt.
- ☐ Eine richtige Antwort auf diese Frage.
- ☐ Eine falsche Antwort auf die Frage.
- ☐ Eine Begründung (Warum ist die richtige Antwort richtig und die falsche Antwort falsch?)
- ☐ Name des Schülers

Zusätzlich kann der Schüler auf seinem Arbeitsblatt weitere Fragen notieren, für deren Beantwortung der angeführte Text keinerlei Auflösung anbietet. Die Unterrichtsmethode sieht vor, dass gute Zusatzfragen von Schülern in den nächsten Physikstunden eine Bedeutung erlangen. Es ist den Schülern bewusst, dass gute Zusatzfragen punkten und einen positiven Einfluss auf die Bewertung des Stillbeschäftigungsblattes haben.

Während alle Schüler den Text auf den Arbeitsblättern zu lesen beginnen, wählt der Lehrer einige Schüler (vier bis maximal sechs Schüler) für eine vertiefende Diskussion aus. Die Auswahl der Diskussionsmitglieder zu diesem moderierten, sokratischen Dialog mit dem Lehrer erfolgt grundsätzlich nach folgenden Überlegungen: Zunächst fordert der Lehrer Schüler zur Teilnahme am moderierten Dialog auf, deren Frage im "Physics for Fun" – Teil nicht eingehend beantwortet wurde. Interessieren sich nur ein oder zwei Schüler für diese Fragestellung, so wählt der Lehrer nach eigenem Urteil noch weitere Schüler für die Diskussionsrunde aus. Ergeben sich aus der "Physics for Fun" – Sache aber keine Fragen, die man weiter entwickeln müsste, so greift der Lehrer auf das Potenzial der Arbeitsblätter zurück. Schüler, die auf dem Rückgabebblatt der vorangegangenen Physikstunde eine offene Frage formuliert haben, werden zur Teilnahme an einer Privatdiskussion angehalten. Weitere Mitglieder für die Diskussionsgruppe werden nach dem Ermessen des Lehrers nominiert. Die Auswahl der Schüler wird vom Lehrer auf Basis der eingelangten Arbeitsblätter geschickt vorbereitet, so dass die Diskussion interessante Meinungskollisionen erwarten lässt. Finden sich auf den Rückgabebblättern der Schüler keine offenen Zusatzfragen, ernannt der Lehrer auf Grundlage der Ausarbeitung des obligatorischen Arbeitsauftrages der Stillbeschäftigung Mitglieder für den moderierten Dialog. Die Überlegung bezüglich zu erwartender Meinungskonflikte während der Privatdiskussion erhält wesentliches Gewicht bei der Auswahl der Kandidaten. In allen Fällen sollte die Gruppengröße auf maximal sechs Teilnehmer beschränkt werden. Für größere Diskussionsgruppen fällt die Effizienz einer sokratisch geführten Debatte stark ab.

Neben den oben genannten Kriterien hat der Lehrer auf eine Gleichverteilung der Schülerbeteiligung an diesen moderierten Auseinandersetzungen mit den Schülern zu achten. Da für die Auswahl der Schüler mehrere Aspekte zur Verfügung stehen (Schülerfragen aus "Physics for Fun", offene Fragen auf den Rückgabebblättern, obligatorische Arbeitsaufträge), ist diese Forderung in der Praxis gut umsetzbar.

Die Privatdiskussionen mit einigen wenigen Schülern ermöglichen eine intensive Auseinandersetzung mit bestimmten Fragen und Schlussfolgerungen der Schüler. Diese „exklusive“ Atmosphäre am Diskussionstisch ist einem guten Arbeitsklima förderlich. Während der Lehrer mit einem Teil der Schüler diesen moderierten Dialog führt, arbeiten die übrigen Schüler an ihren Arbeitsaufträgen. Trotz der oft heftigen Debatten konnte ich nicht feststellen, dass die restliche Klasse von der Bearbeitung der Stillbeschäftigungsblätter abgehalten wurde. Soweit eine räumliche Trennung von Diskussionsgruppe und stillbeschäftigten Schülern möglich ist, sollte diese natürlich genutzt werden. In meinen Physikstunden ist die Diskussionsgruppe meist rund um das Lehrerpult versammelt.

### 1.3 Die Unterrichtsnachbereitung

Die von den Schülern erstellten Stillbeschäftigungsblätter werden am Ende der Unterrichtsstunde dem Lehrer abgegeben. In der Nachbereitungszeit bewertet der Lehrer die Beiträge der Schüler zur Physikstunde. Es sind zwei Domänen zu beurteilen:

Erstens: Die Schülerbeiträge zu "Physics for Fun" – der Einleitung der Physikstunde. Der Lehrer greift für diese Aufgabe auf seine im Unterricht festgehaltenen Notizen zurück. Diese Notizen listen jene Schüler auf, deren Beiträge zu "Physics for Fun" Gewicht hatten. Ich bevorzuge für die Wertung dieser Beiträge einen sehr groben Verteilungsschlüssel: Die Schüler bekommen für gute Beiträge zu "Physics for Fun" einen Punkt, für sehr gute Beiträge zwei Punkte.

Zweitens erhalten die Schüler für ihre Stillbeschäftigungsarbeiten Punkte. Der Lehrer verschafft sich hierzu einen Überblick über diese Schülerarbeiten. Einzelne Stichproben werden sorgfältig gelesen. Den offenen Zusatzfragen der Schüler wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Häufig bilden diese Zusatzfragen den Ausgangspunkt für eine Privatdiskussion mit dem Fragesteller und weiteren Schülern in der folgenden Physikstunde. Arbeiten mit widersprüchlichen Aussagen versprechen gleichfalls interessante Privatdiskussionen mit den jeweiligen Schülern. Für die Stillbeschäftigungsblätter kommt wiederum ein grobes Bewertungsschema zur Anwendung: Die Schüler erhalten einen Punkt für gute Arbeiten (z.B. für eine interessante Frage). Hingegen erhalten die Schüler für sehr gute Stillbeschäftigungsarbeiten zwei Punkte. Versäumt ein Schüler eine Unterrichtsstunde, so kann er das entsprechende Blatt zu Hause bearbeiten und nachbringen.

Es erscheint mir bedeutend, dass die Teilnehmer der Privatdiskussionen keine Punkte erhalten. Das Interesse der Schüler an einer Diskussion wird somit weniger verfälscht. Ich schätze, dass diese Maßnahme die relative Häufigkeit von intrinsisch motivierten Diskussionsbeiträgen relevant erhöht.

Die Nachbearbeitung einer Physikstunde könnte also die letzten beiden Spalten der folgenden Abbildung ergeben. In der Praxis benötige ich für diese Arbeit ca 15 Minuten.

Die folgende Tabelle zeigt meine Aufzeichnungen bezüglich der Mitarbeit der Schüler während der Unterrichtszeit. Die Gesamtpunktezah! bestimmt maßgeblich die Jahresnote des Schülers.

	16. Dez. 02		18. Dez. 02		8. Jan. 03		15. Jan. 03		20. Jan. 03		22. Jan. 03	
Name	Physics for Fun	Stillbeschäftigung	Physics for Fun	Stillbeschäftigung	Physics for Fun	Stillbeschäftigung	Physics for Fun	Stillbeschäftigung	Physics for Fun	Stillbeschäftigung	Physics for Fun	Stillbeschäftigung
Arnheim T.	2	2		2		2	2		2	2	2	
Brugger M.		1		1				1			1	
Gnigler G.			2	2	2	2		2	2	2		2
Haselstein F.	1	2		2	1	1		1	1		1	1
Hofer O.				2		1			1	1		
Jambor R.	2	2	2				2	2	1			
Jenewein B.			1			1		2		1		
Klein G.	2	2	2	2	1	2	2	1		2		
Kofler G.		2		2		2		2		1		2
Ludwiger T.	1		1			1	1		1	2		
Madlener K.	2	1		2	1		1	1		2		2
Maurer M.	1	2	2	1		1	1	1	2		2	2
Nittl G.			1	1	1		2	2	1		1	

Abbildung 2: Schülerliste mit eingetragener Bewertung.

Am Beginn der nächsten Physikstunde liest der Lehrer den Schülern den Punktegewinn vor.

Ich könnte mir vorstellen, dass manche Kollegen ein kontrollierbares Ganzes an die Schüler vermitteln möchten. Die isolierten Diskussionen des Lehrers mit einigen wenigen Schülern sind hierzu nicht hilfreich. Physikunterricht als moderierter Dialog löst sich von der fixen Idee, dass jeder Schüler im Gänsemarsch dem vom Lehrer gewiesenen Pfad durch den Lehrplan folgen muss. Meine Unterrichtsmethode ermöglicht es mir, einzelnen Schülern eine individuelle Auseinandersetzung zu ihren momentanen Ungereimtheiten zu liefern. Diese gegenüber dem konventionellen Unterrichtsaufbau veränderte Einflussnahme auf die persönlichen „Theorien“ der Schüler kommt in einem Zitat von L. Bloomfield<sup>31</sup> klar zum Ausdruck:

While a methodical and logical development of scientific principles can be satisfying to the seasoned physicist, it's alien to an individual who isn't even familiar with the language being used.

**L. Bloomfield**

## KAPITEL 2: Die Evaluierung

Nothing is worth doing unless the consequences may be serious.  
**George Bernard Shaw**

Vergleichen und Messen sind typische naturwissenschaftliche Angelegenheiten. Dennoch bereitete mir die Evaluierung meiner Unterrichtsmethode anfänglich Kopfzerbrechen. Es erschien mir erforderlich, eine Kausalität zwischen der Unterrichtsmethode und den Unterrichtserträgen herzustellen. Nur so wäre es mir möglich zu zeigen, dass sich die Unterrichtsmethode in der beabsichtigten Weise auf den Unterrichtsertrag auswirkt. Es ist ersichtlich, dass eine – wie auch immer geartete – Kausalität zwischen den Abläufen in der Unterrichtsstunde und den Entwicklungen der Schüler besteht. So offensichtlich diese Verbindung erscheinen mag, eine Beschreibung derselben ist höchst komplex. Ich musste einsehen, dass es mir nicht gelingen wollte, eine begründete Verknüpfung von Ursache und Wirkung der Abläufe im Unterricht herzustellen. Ich beschränkte meine Evaluationsbemühungen fortan auf die authentische Beschreibung der Erträge und gab die Idee mit der Kausalität auf. Meine Anstrengungen konzentrierten sich auf die Dokumentation einzelner Belegstücke. Gleichwohl die Ergebnisse und die Rahmenbedingungen dieser Evaluierung im Vordergrund der Berichterstattung stehen, wurde in manchen Fällen eine persönliche Anmerkung notwendig. Diese Feststellungen weisen auf Dinge hin, die mir auffällig oder im Kontext bemerkenswert erschienen.

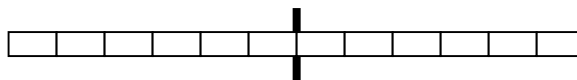
### 2.1 Belegstück I: Das Stimmungsbarometer

#### Die Ausgangssituation:

Im September 2001 übernahm ich eine 6. Klasse des Gymnasiums in Physik. Ich teilte den Schülern dieser Klasse am Beginn des Schuljahres den folgenden „Stimmzettel“ mit der Bitte um eine Stellungnahme aus:

*Kannst du behaupten, dass dein bisheriger Physikunterricht dich ermutigte, selbständig über Beobachtungen nachzudenken und Rückschlüsse aus diesen Überlegungen zu ziehen?*

**Ja!** Der Physikunterricht hilft hierbei mehr als jeder andere Unterrichtsgegenstand.



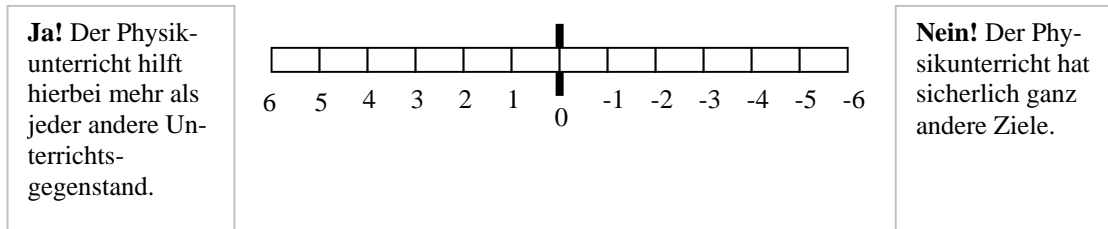
**Nein!** Der Physikunterricht hat sicherlich ganz andere Ziele.

Ich ersuchte die Schüler den Schieberegler zwischen den beiden extremen Positionen auf der abgebildeten Skala so einzurichten, dass dieser ihre Meinung widerspiegelte.

Am Ende des Schuljahres wiederholte ich die Befragung, wobei ich die Formulierung „Kannst du behaupten, dass dein bisheriger Physikunterricht ...“ in „Kannst du behaupten, dass der Physikunterricht der 6. Klasse ...“ abänderte.

### Datenauswertung und Ergebnis:

Ich ordnete der abgebildeten Skala Werte zu. Der Wert -6 markierte hierbei das untere Ende der Skala für äußerst negative Rückmeldungen („Nein! Der Physikunterricht hat sicherlich ganz andere Ziele“). Der Wert +6 markierte das obere Ende des Stimmungsbarometers für äußerst positive Rückmeldungen („Ja! Der Physikunterricht hilft hierbei mehr als jeder andere Unterrichtsgegenstand“).



Die Stimmzettel wurden von den Schülern anonym abgegeben. Alle anwesenden Schüler retournierten einen auswertbaren Stimmzettel. Die Umfrage umfasste 24 Schülermeinungen am Schuljahresbeginn und 17 Schülermeinungen am Schuljahresende (Der Unterschied ergab sich durch krank gemeldete Schüler). Ich ermittelte einen „Stimmungsmittelwert“ für den Schulbeginn (Summe über alle Einzelwertungen der Schüler dividiert durch die Anzahl der Datenblätter) und einen entsprechenden Mittelwert für das Schuljahresende. Die Mittelwerte M lieferten folgende Resultate:

Mittelwert für die Befragung am Schuljahresbeginn:  $M_{\text{Beginn}} = 0$

Mittelwert für die Befragung am Schuljahresende:  $M_{\text{Ende}} = 3$

### Bedenken:

Die positive Verschiebung der Schülermeinung könnte lediglich die Wertschätzung der Schüler mir gegenüber zum Ausdruck bringen und wenig mit meiner Unterrichtsmethode zu tun haben. So reflektierte ein Schüler auf seinem „Stimmzettel“ am Ende des Schuljahres:

*Frage: Warum wollen Sie das wissen?*

*Sie erwarten sich positive Kritik.*

*Oder: Sie wollen einfach nur etwas lustiges lesen. (hier liegt der Hund begraben!)*

## **2.2 Belegstück II: Der FCI - Test**

Der „Force Concept Inventory“ (FCI) ist ein Multiple-Choice Test auf dem Gebiet der Newtonschen Mechanik. Der Test versucht das Schülerverständnis für grundlegende Konzepte einfacher Bewegungsabläufe abzubilden. In der Fachliteratur wird der FCI vielfach in Zusammenhang mit der Messung des Unterrichtertrages genannt. Der FCI basiert auf Forschungsarbeiten im Rahmen der Fachdidaktik Physik. Für weiterführende Informationen über die Entwicklung dieses Evaluierungswerkzeuges verweise ich auf Publikationen von D. Hestenes, M. Wells, G. Swackhamer und I. Halloun<sup>32, 33, 34, 35, 36</sup>. Eine äußerst umfangreiche FCI-Datensammlung mit Testteilnehmern von amerikanischen Universitätsphysikkursen und High School Physikkursen wurde von R. Hake<sup>37, 38</sup> erstellt. Der FCI wurde entwickelt, um einen minimalen Qualitätsstandard für Mechanikkurse einzuführen. Die Fragen des Tests sind so verfasst, dass sie intuitiv verständlich sind und keinerlei Vorkenntnisse auf dem Gebiet der Mechanik verlangen. In welchem Ausmaß die Testergebnisse Rückschlüsse auf das Schülerverständnis für grundlegende Konzepte der Mechanik zulassen, wird nicht nur von mir in Frage gestellt. D. Huffman und P. Heller erheben ernste Vorbehalte gegenüber der Gültigkeit und Interpretation der FCI-Testergebnisse. Die ausführliche Behandlung dieses Disputs ist in Publikationen<sup>39, 40, 41</sup> der Agitatoren nachzulesen. In diesem Zusammenhang ist auch eine Veröffentlichung von C. Hendersen<sup>42</sup> informativ. Die Problematik des Multiple-Choice Formats ist Gegenstand der Arbeit von R. Steinberg und M. Sabella<sup>43</sup>. Wie ich aber selbst feststellen konnte, ist der FCI immer für Überraschungen gut. So schreibt auch E. Mazur<sup>44</sup>:

In 1990, however, I came across a series of articles by Halloun and Hestenes that really opened my eyes. As is well known, students enter their first physics course possessing strong beliefs and intuitions about common physical phenomena. These notions are derived from personal experience and color students' interpretations of material presented in the introductory course. Halloun and Hestenes show that instruction does little to change these "common-sense" beliefs.

For example, after a couple of months of physics instruction, all students can recite Newton's third law and most of them can apply it in numerical problems. A little probing, however, quickly shows that many students do not understand the law.

...

Intrigued, I decided to test my own students' conceptual understanding, as well as that of the physics majors at Harvard. The first warning came when I gave the Halloun and Hestenes test to my class and a student asked, "Professor Mazur, how should I answer these questions? According to what you taught us, or by the way I *think* about these things?" Despite this warning, the results of the test came as a shock.

**E. Mazur**

Ich persönlich habe mich hauptsächlich deshalb für den FCI entschieden, da dieses Evaluierungsinstrument einen breiten Bekanntheitsgrad in der Gemeinde der Fachdidaktiker für Physik besitzt und entsprechend viele Referenzdaten von Schülern und Studenten in der Vergangenheit erfasst wurden. Meine kritischen Vorbehalte gegenüber dem FCI werden in der Diskussion im Anschluss an meine Datenauswertung dargelegt.

## 2.2.1 Die Rahmenbedingungen der Befragung

### Der verwendete Fragebogen:

Die Befragung sollte Daten für die fachlichen Leistungen von Schülern mit und ohne Physikunterricht als moderierter Dialog liefern. Hierzu verwendete ich den FCI in der von H. Schecker und J. Gerdes übersetzten deutschsprachigen Version (Force Concept Inventory © by Hestenes, Wells and Swackhammer, Übersetzung © H. Schecker und J. Gerdes, Universität Bremen, Version 3.1 – der Fragebogen besteht aus 29 Fragen). Der Testbogen<sup>45</sup> ist im Anhang B abgedruckt.

### Die befragten Schüler:

Für die Gegenüberstellung wähle ich folgende Formulierung:

„Albrecht-Schüler“ (bzw. „meine Schüler“) vs. „Schüler des Kollegen“.

Die „Albrecht-Schüler“ wurden von mir in Mechanik unterrichtet. Der Unterricht fand im Rahmen des Physikunterrichts der 6. Klasse des Gymnasiums im Schuljahr 2001/02 statt. In diesem Schuljahr war die Entwicklung meiner Unterrichtsmethode noch nicht abgeschlossen und die Unterrichtsgestaltung als moderierter Dialog mit den Schülern nahm eine Vielzahl von Variationen an. Von Schulbeginn des Schuljahres 2001 bis Mitte März 2002 gab es noch keine strikte Limitierung der Diskussionsteilnehmer. Jene Unterrichtsform, die ich im Kapitel 1 beschreibe, kam nur gegen Schuljahresende zur Anwendung. Dennoch war ich zu diesem Zeitpunkt zuversichtlich, dass die fachlichen Leistungen der Schüler durch den sokratischen Dialog geformt wurden.

Die „Schüler des Kollegen“ wurden von einem Fachkollegen im Schuljahr 2001/02 in Mechanik unterrichtet. Dieser Unterricht fand im Rahmen des Physikunterrichts der 5. Klasse des Realgymnasiums statt. Es ist anzunehmen, dass die Schüler des Kollegen im Unterricht keine zeitlich ausgedehnten Fachdiskussionen führten (Zitat des Kollegen: „Was soll ich mit denen lang diskutieren – die sollen zuerst einmal etwas lernen!“).

Meine Schüler als auch die Schüler des Kollegen wurden informiert, dass der Testbogen anonym auszufüllen ist.

### Unterschiede in der Population:

In einigen Faktoren unterscheiden sich die beiden Populationen:

<b>Albrecht-Schüler</b>	<b>Kollegen-Schüler</b>
Schüler des Gymnasiums	Schüler des Realgymnasiums
Schüleranzahl im Klassenverband: <b>27</b>	Überprüft wurden zwei Klassen: Schüleranzahl im ersten Klassenverband: <b>21</b> Schüleranzahl im zweiten Klassenverband: <b>21</b>

Ohne im Detail auf die Unterschiede im Lehrplan und in der Stundentafel von Realgymnasium und des gymnasialen Zweiges einzugehen halte ich fest, dass die Schüler des Realgymnasiums im Vergleich zum gymnasialen Zweig eine tiefer gehende naturwissenschaftliche Ausbildung erhalten sollten.

## 2.2.2 Die Ergebnisse der Befragung

Das Ergebnis der FCI – Befragung der Schüler wurde tabelliert. Die erste Zeile der Tabelle gibt Auskunft über die Nummer der Frage (Frage 1 bis Frage 29). Die erste Spalte der Tabelle gibt Auskunft über den Schüler (jeder Schüler wird durch eine Zahl repräsentiert). Die einzelnen Felder der Tabelle geben Auskunft über die Korrektheit der Antwort: Richtige Antworten sind durch die Ziffer 1 gekennzeichnet, falsche Antworten sind durch die Ziffer 0 gekennzeichnet.

Die Abbildung erläutert die Darstellung der FCI Daten:

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	1	1	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	1	1
7	0	1	0	1	0	0	1	1

Aussage: Die Frage # 7 des FCI wurde vom Schüler # 4 falsch beantwortet.

Abbildung 3: Ausschnitt aus der FCI - Ergebnistabelle.

Die FCI – Ergebnisse für die Schüler des Kollegen:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1
7	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
9	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
10	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
12	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
14	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
17	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
18	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
19	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
20	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
21	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1





## 2.2.3 Die Auswertung der FCI – Daten

### 2.2.3.1 Wie viele Schüler konnten eine bestimmte Aufgabe des FCI – Tests richtig beantworten?

Hierzu berechnete ich den prozentuellen Anteil jener Schüler, deren Antwort auf die Frage mit der Nummer  $N$  richtig ist.

$$p_N[\%] = \frac{\text{Anzahl der Schüler, deren Antwort auf die Frage mit der Nummer } N \text{ richtig ist}}{\text{Gesamtanzahl der Schüler}} \cdot 100$$

#### A) Wie viele Schüler meines Kollegen konnten eine bestimmte Aufgabe des FCI richtig beantworten?

$$\text{Gesamtanzahl der Schüler} = 17 + 15 = 32$$

Ergebnis:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
p [%]	28	41	28	69	6	22	13	31	16	72	38	0	28	44	13	47	50	25	66	50	13	16	31	19	16	22	38	16	50

Tabelle 3: Richtig beantwortete FCI – Fragen für die Schüler meines Kollegen.

Erläuterung der Aussagekraft der obigen Tabelle an Hand einer willkürlich gewählten Spalte:

Die FCI – Frage mit der Nummer 11 konnten 38% der Schüler meines Kollegen richtig beantworten.

#### B) Wie viele von meinen Schülern konnten eine bestimmte Aufgabe des FCI richtig beantworten?

$$\text{Gesamtanzahl der Schüler} = 25$$

Ergebnis:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
p [%]	0	4	4	48	8	28	24	8	4	56	8	4	4	28	40	32	44	8	88	44	28	16	8	28	4	4	32	8	48

Tabelle 4: Richtig beantwortete FCI – Fragen für meine Schüler.

Erläuterung der Aussagekraft der obigen Tabelle an Hand einer willkürlich gewählten Spalte:

Die FCI – Frage mit der Nummer 11 konnten 8% meiner Schüler richtig beantworten.

## Gegenüberstellung:

Anteil der Schüler meines Kollegen, deren Antwort zu einer gegebenen Frage des FCI richtig ist vs. Anteil meiner Schüler, deren Antwort zu dieser Frage richtig ist.

Hierzu wurden die Ergebnisse in den beiden Tabellen der Auswertung (Tabelle 3 und Tabelle 4) in einem Diagramm dargestellt:

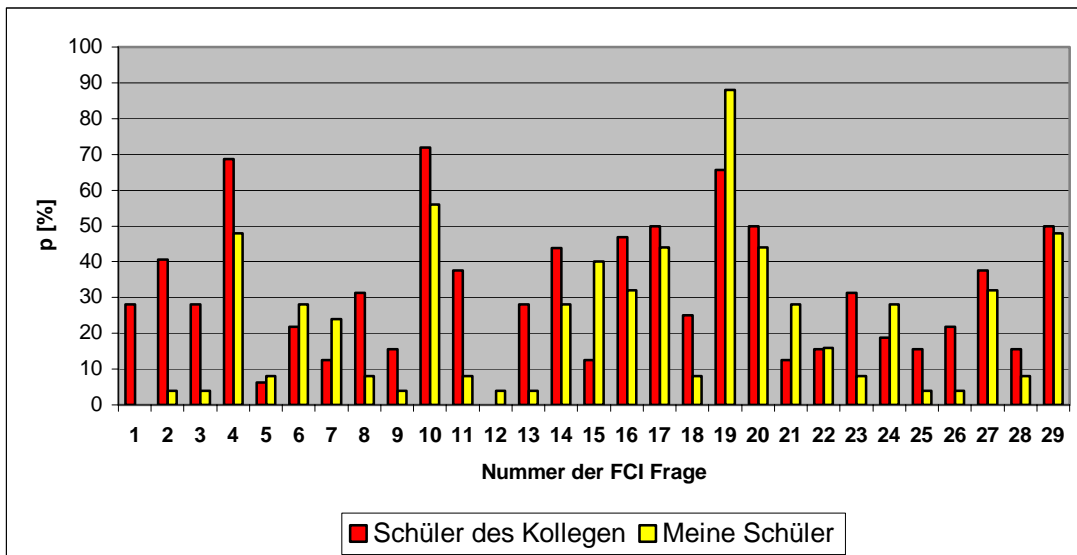


Abbildung 4: Wie viel Prozent der Schüler konnten eine bestimmte FCI – Frage (Nr. 1 bis Nr. 29) richtig beantworten?

Erläuterung der Aussagekraft des obigen Diagramms an Hand eines willkürlich gewählten Datensatzes:

Die FCI – Frage mit der Nummer 17 konnten 50% der Schüler meines Kollegen richtig beantworten, dieselbe Frage konnten 44% meiner Schüler richtig beantworten.

Um den Unterschied in den FCI – Ergebnissen (für meine Schüler gegenüber den Schülern meines Kollegen) noch deutlicher darzustellen, stellte ich die Differenz der Balkenlängen des obigen Diagramms (Abbildung 4) graphisch dar:

*Balkendifferenz = Balkenlänge für die Schüler meines Kollegen - Balkenlänge für meine Schüler*

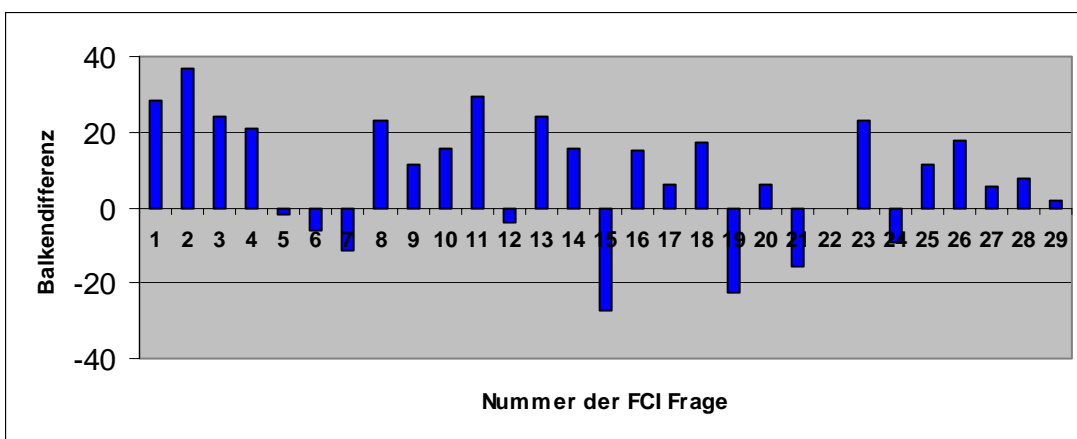


Abbildung 5: Der Unterschied in der korrekten Beantwortung einer FCI – Frage für die beiden Populationen (meine Schüler vs. die Schüler meines Kollegen).

Erläuterung der Aussagekraft des obigen Diagramms:

Negative Werte: Der prozentuelle Anteil jener Schüler, deren Antwort zu einer gegebenen Frage richtig war, ist in meiner Klasse größer, als der entsprechende Anteil der Schüler in den Klassen, die mein Kollege unterrichtet hat.

Positive Werte: Der prozentuelle Anteil jener Schüler, deren Antwort zu einer gegebenen Frage richtig war, ist in meiner Klasse kleiner, als der entsprechende Anteil der Schüler in den Klassen, die mein Kollege unterrichtet hat.

### 2.2.3.2 Wie viele Schüler konnten den gesamten FCI – Test souverän bewältigen?

Die folgenden Tabellen liefern die Anzahl der richtig beantworteten Fragen für jeden Schüler (der FCI – Test besteht aus insgesamt 29 Fragen). Die Schüler wurden fortlaufend durchnummeriert.

$S - Nr.$  = Schülernummer

$N$  = Anzahl der richtig beantworteten Fragen

#### A) Anzahl der richtig beantworteten Fragen für die Schüler meines Kollegen:

S-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
N	5	4	10	4	6	16	13	6	14	9	15	10	9	8	13	5	6	10	11	9	9	6	13	7	6	10	8	3	5	12	14	13

Tabelle 5: Anzahl der richtig beantworteten FCI – Fragen für die Schüler meines Kollegen.

Erläuterung der Aussagekraft der obigen Tabelle an Hand einer willkürlich gewählten Spalte der Tabelle: Der Schüler meines Kollegen mit der Nummer 24 konnte 7 Fragen (von insgesamt 29 Fragen) richtig beantworten. Der schlechteste Schüler meines Kollegen konnte nur 3 von insgesamt 29 Fragen beantworten. Der beste Schüler meines Kollegen konnte 16 von insgesamt 29 Fragen beantworten. Der durchschnittliche Schüler meines Kollegen:

$$\text{Durchschnittswert der richtigen Antworten} = \frac{\sum_{i \in \text{Menge der Schüler}} \text{Anzahl der richtigen Antworten des } i\text{-ten Schülers}}{\text{Gesamtanzahl der Schüler}}$$

$$\text{Gesamtanzahl der Schüler} = 17 + 15 = 32$$

Durchschnittswert der richtigen Antworten = 9

Der durchschnittliche Schüler meines Kollegen konnte 9 von insgesamt 29 Fragen richtig beantworten.

#### B) Anzahl der richtig beantworteten Fragen für die Schüler aus meiner Klasse:

S-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
N	5	5	16	16	5	4	8	8	7	6	4	6	7	7	6	8	6	6	5	7	4	7	5	4	3

Tabelle 6: Anzahl der richtig beantworteten FCI – Fragen für meine Schüler.

Erläuterung der Aussagekraft der obigen Tabelle an Hand einer willkürlich gewählten Spalte der Tabelle: Mein Schüler mit der Nummer 24 konnte 4 Fragen (von insgesamt 29 Fragen) richtig beantworten. Der schlechteste Schüler aus meiner Klasse konnte nur 3 von insgesamt 29 Fragen beantworten. Der beste Schüler aus meiner Klasse konnte 16 von insgesamt 29 Fragen beantworten.

Der durchschnittliche Schüler aus meiner Klasse:

Durchschnittswert der richtigen Antworten = 6,6

Der durchschnittliche Schüler aus meiner Klasse konnte 6,6 von insgesamt 29 Fragen richtig beantworten.

### Interpretation:

Der prozentuelle Anteil der richtigen Antworten gilt als ein Maß für die Beherrschung der Newtonschen Mechanik. So schreibt D. Hestenes<sup>46</sup>:

On the basis of such data we interpret an FCI score of 85% as the Newtonian Mastery threshold. We are confident in identifying students with scores above this threshold as confirmed Newtonian thinkers. We suggest an FCI score of 60% as the entry threshold to Newtonian physics. Students who have just reached this threshold have barely begun to use Newtonian concepts coherently in their reasoning.

**D. Hestenes**

Für einen Vergleich mit den von mir ermittelten FCI – Daten sind noch weitere Eckdaten interessant:

Umfangreiche Studien<sup>47, 48</sup> an amerikanischen High Schools ergaben, dass deren Schüler im Durchschnitt 31% der FCI – Fragen schon vor der Belehrung (am Schuljahresanfang jenes Jahres, in welchem Mechanik unterrichtet wird) richtig beantworten. Der nationale Durchschnittswert nach erfolgtem Unterricht an amerikanischen High Schools erhöht sich auf 48% (Anteil der richtigen Antworten), deutlich unter dem zitierten Schwellwert für Newtonsches Denken von 60% (Anteil der richtigen Antworten).

Der nach dem Zufallsprinzip ausgefüllte Multiple-Choice Test ergibt einen Anteil von 20% richtig getroffener Antworten.

Die folgende Tabelle listet den prozentuellen Anteil der richtig beantworteten Fragen für den Unterricht meines Kollegen und für meinen Unterricht auf. Der schlechteste Schüler in meinem Unterricht wie auch im Unterricht meines Kollegen konnte 3 von 29 Fragen (10,3%) richtig beantworten. Der beste Schüler in meinem Unterricht wie auch im Unterricht meines Kollegen konnte 16 von 29 Fragen (55,2%) richtig beantworten.

	Kollege	Albrecht
Schlechtester Schüler	10,3%	10,3%
Bester Schüler	55,2%	55,2%
Durchschnittlicher Schüler	31,1%	22,8%

Tabelle 7: Die FCI – Ergebnisse (Prozentueller Anteil der richtigen Antworten).

Selbst der beste Schüler in beiden Populationen bleibt unter dem allgemein akzeptierten Schwellwert für Newtonsches Denken.

### Gegenüberstellung:

Für beide Populationen wurde die Anzahl jener Schüler ermittelt, die eine gegebene Anzahl richtiger Antworten lieferte. Diese Information wurde in der folgenden Tabelle erfasst:

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Kollege	0	0	0	1	2	3	5	1	2	4	4	1	1	4	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Albrecht	0	0	0	1	4	5	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 8: Wie viele Schüler beantworteten eine bestimmte Anzahl von FCI – Fragen richtig?

Erläuterung der Aussagekraft der obigen Tabelle: Die erste Zeile listet die mögliche Anzahl der richtigen Antworten auf (0 bis 29). Die zweite bzw. dritte Zeile gibt an, wie viele Schüler meines Kollegen bzw. in meiner eigenen Klasse entsprechend viele FCI – Fragen richtig beantworten konnten.

Die Information der obigen Tabelle wurde zusätzlich graphisch dargestellt:

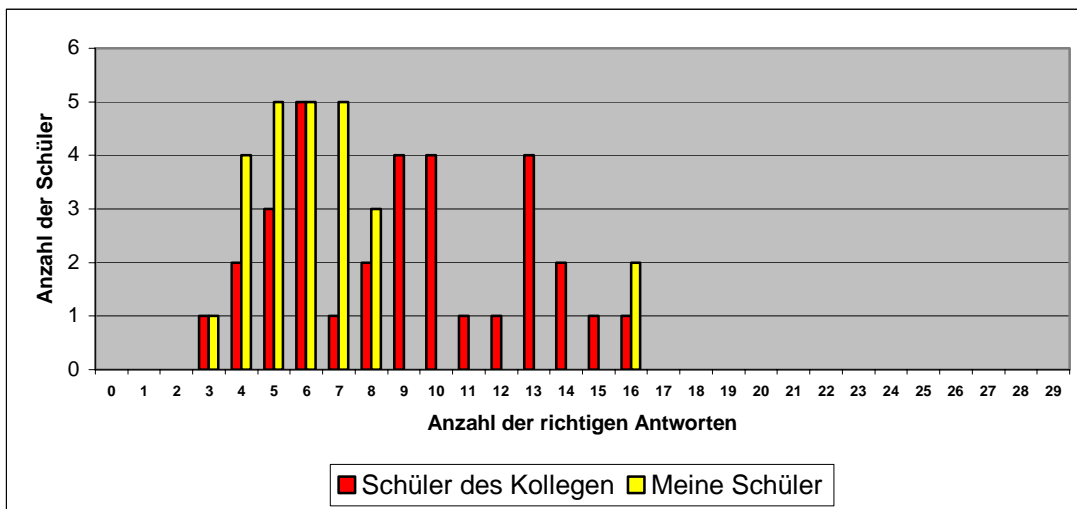


Abbildung 6: Wie viele Schüler beantworteten eine bestimmte Anzahl von FCI – Fragen richtig?

## 2.2.4 Aussagekraft der FCI – Umfrage

Meine Schüler als auch die Schüler meines Kollegen sind keine Newtonschen Denker. Die registrierten Abweichungen in den Ergebnissen dieser beiden Populationen können aufgrund der kleinen Datenmenge durch singuläre Ereignisse und Gegebenheiten verursacht werden. Um diese Behauptung zu festigen, führe ich einige Bedenken an:

### Bedenken 1:

In der Umfrage sind vier Schüler enthalten, die den regulären Physikunterricht bei meinem Kollegen besuchen, aber zusätzlich auch von mir im Rahmen des Wahlpflichtfaches Physik unterrichtet werden. In der obigen Datenauswertung werden diese vier Schüler in den Datensätzen für meinen Kollegen erfasst (und nicht in meinen Datensätzen). Man könnte annehmen, dass gerade diese vier Schüler überdurchschnittlich gut abgeschnitten haben. Diese Schüler genießen die Vorteile beider Unterrichtsstile.

### Bedenken 2:

Schüler des Realgymnasiums könnten einen anderen Zugang zu naturwissenschaftlichen Fragestellungen haben als Schüler des gymnasialen Zweigs. Zitat eines Schülers aus meiner Klasse in Zusammenhang mit einfachen Proportionalitätsüberlegungen im Unterricht: „Aber wir sind ja im EU-Gymnasium ...“ Anmerkung: EU-Gymnasium ist die hauseigene Bezeichnung des gymnasialen Zweigs, oftmals auch als „Sprachzweig“ bezeichnet. Insbesondere unterscheidet sich der Lehrplan für Gymnasium und Realgymnasium.

### Bedenken 3:

Die Klassengrößen sind unterschiedlich:  
 Schüleranzahl in meiner Klasse: 27 Schüler im Klasseverband.  
 Schüleranzahl in den Klassen des Kollegen: je 21 Schüler.

### Bedenken 4:

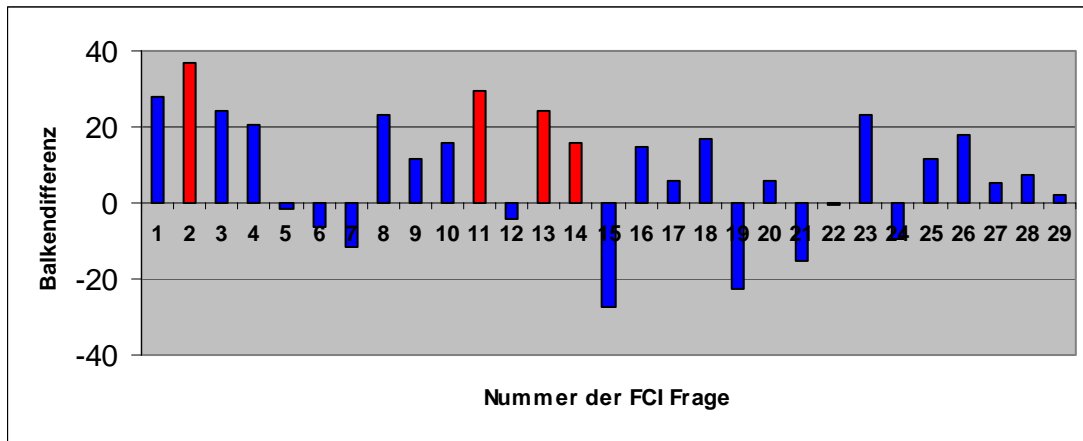
Beobachtungen während des Tests bestärken mich in der Annahme, dass die Schüler in den beiden Populationen unterschiedlich selbständig arbeiteten. Werden Antworten von „bekanntlich erfolgreichen“ Schülern abgeschrieben, kann es zu Verzerrungen im Datenmaterial kommen.

### Bedenken 5:

Der Test beinhaltet einige Fragen, die für Schüler, welche auf die „Newton 3 Terminologie“ eingeschworen wurden, sehr leicht zu detektieren sind. (Frage Nr. 2, Nr. 11, Nr. 13 und Nr. 14). Wurde also den Schülern eingetrichtert „Übt A auf B eine Kraft aus, dann übt B ...“, ergibt sich für diese Schüler ein bestimmter Vorteil gegen-

über meinen Schülern. Die Ergebnisse der Datenauswertung weisen den Schülern meines Kollegen im Zusammenhang mit „Newton 3 – Fragen“ ein besseres Zeugnis aus. In wie fern diese FCI – Daten durch „artgerechte“ Formulierung verzerrt werden, kann nicht eruiert werden. Das Verständnis für Newton 3 könnte insbesondere durch Einzelinterviews hinterfragt werden.

Die Grafik zeigt große Differenzen im Bereich der „Newton 3“ – Fragen bei den beiden Populationen. Die Newton 3 – Fragen wurden rot gekennzeichnet:



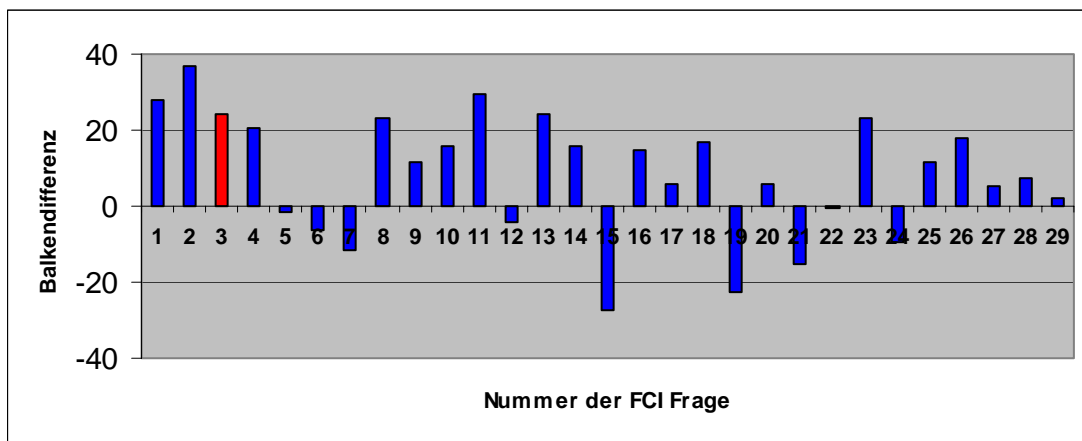
#### Bedenken 6:

Viele Schüler aus meiner Klasse haben die Frage Nr. 3 mit gutem Grund (falsch) beantwortet. Einzelinterviews und Diskussionen nach der FCI – Umfrage eröffneten beachtliche Argumentationslinien der Schüler. Die Frage Nr. 3 des FCI lautet folgendermaßen:

Zwei Stahlkugeln, von denen eine doppelt so viel wiegt wie die andere, rollen mit der gleichen Geschwindigkeit über die Kante eines waagrecht stehenden Tisches. Für die weitere Bewegung gilt:

- A) Beide Kugeln prallen in etwa derselben Entfernung vom Tisch auf den Boden.
- B) Die schwere Kugel trifft etwa in der halben Entfernung vom Tisch auf wie die leichte.
- C) Die leichte Kugel trifft etwa in der halben Entfernung vom Tisch auf wie die schwere.
- D) Die schwere Kugel trifft deutlich dichter am Tisch auf den Boden als die leichte, aber nicht notwendigerweise in der halben Entfernung.
- E) Die leichte Kugel trifft deutlich dichter am Tisch auf den Boden als die schwere, aber nicht notwendigerweise in der halben Entfernung.

In vielen Unterrichtsdiskussionen forderten meine Schüler die Behandlung des realistischen Falls (nachdem ich den Schülern – meist vergeblich – die Vorteile des idealisierten Falls auseinander setzte). Es würde mich nicht wundern, wenn meine Schüler ihren Hang zum Realismus gegenüber meiner Vorliebe für idealisierte Problemstellungen betonen wollten, und die Gewichtung des Wortes „deutlich“ in der Fragestellung – fälschlicherweise – überbewerteten. So zeigte die Auswertung dieser Frage, dass **84%** meiner Schüler die Antwortmöglichkeit D gewählt haben. Hingegen wurde die Antwort D von nur 41% der Schüler meines Kollegen gewählt. In diesem Zusammenhang ist es aufschlussreich, dass somit 89% meiner Schüler die Antwortmöglichkeit A oder D gewählt haben, hingegen nur 69% der Schüler meines Kollegen eine dieser beiden Antwortmöglichkeiten (A oder D) ankreuzten. Dies zeigt, dass 31% der Schüler meines Kollegen eine offensichtlich falsche Antwort wählten, hingegen nur 11% meiner Schüler diese FCI – Frage offensichtlich falsch beantworteten. In der Auswertung der FCI – Daten geht dieser Aspekt verloren, und meine Schüler bleiben weit abgeschlagen zurück (die Balkendifferenz wurde in der nachfolgenden Grafik rot hervorgehoben).



Durch Einzelinterviews im Anschluss an die FCI – Umfrage konnte ich feststellen, dass zumindest einzelne Schüler die falsche Antwort (D) mit guter Absicht ausgewählt haben. Hierzu wurden die folgenden Argumentationslinien verwendet:

Erste Argumentationsschiene:

Beide Kugeln sind aus Stahl → die schwere Kugel muss folglich auch den größeren Kugeldurchmesser besitzen → größerer Durchmesser bedeutet größerer Luftwiderstand → größerer Luftwiderstand bedeutet (deutlich) geringere Reichweite.

Zweite Argumentationsschiene:

Größere Masse → kürzere Flugzeit (unter Berücksichtigung des Luftwiderstandes selbst für Kugeln mit identischem Durchmesser) → (deutlich) geringere Reichweite.

#### Bedenken 7:

Die Antwortmöglichkeiten zur Fragestellung Nr. 1 des FCI beinhaltet (ähnlich der Frage 3) eine falsche Antwort (Auswahl D), die von den Schülern aber mit gutem Grund ausgewählt werden kann. Die erste Frage des FCI lautet:

Zwei Kugeln aus Metall werden vom Dach eines zweigeschossigen Gebäudes zum gleichen Zeitpunkt fallengelassen. Beide Kugeln haben die gleiche Größe, aber die eine ist doppelt so schwer wie die andere. Für die Zeit bis zum Auftreffen auf dem Boden gilt:

- A) die schwere Kugel braucht etwa die halbe Zeit.
- B) die leichte Kugel braucht etwa die halbe Zeit.
- C) beide brauchen etwa die gleiche Zeit.
- D) die schwere Kugel braucht deutlich weniger Zeit, aber nicht unbedingt die halbe Zeit.
- E) die leichte Kugel braucht deutlich weniger Zeit, aber nicht unbedingt die halbe Zeit.

Diese Problematik wurde in meinem Unterricht behandelt. Hitzige Debatten rund um den idealisierten Fall erforderten schon bald die Berücksichtigung des Luftwiderstandes. Ich kann nicht ausschließen, dass meine Schüler die Bedeutung des Luftwiderstandes für die FCI – Frage überbewerteten.

#### Weiterführende Anmerkungen zur vorliegenden FCI – Umfrage:

##### Anmerkung 1:

Die Frage Nr. 15 des FCI konnte von 13% der Schüler meines Kollegen beantwortet werden. Dieselbe Frage wurde von 40% meiner Schüler richtig beantwortet. Ein Blick auf die Frage erscheint mir aufschlussreich:

Frage Nr. 15:

Wenn ein Hartgummiball („Flummy“) aus der Ruhe fallengelassen wird und vom Boden zurückprallt, kehrt sich seine Bewegungsrichtung um, weil

- A) die Energie des Balls erhalten bleibt



- B) der Impuls des Balls erhalten bleibt
- C) der Boden eine Kraft auf den Ball ausübt, die dessen Fall abbremst und ihn dann nach oben treibt.
- D) der Boden im Weg ist, der Ball aber seine Bewegung fortsetzen muss
- E) Keine der Aussagen A) bis D) trifft zu.

Bei dieser Frage decken sich naturwissenschaftliches Konzept und naive Erklärung. Hingegen sind „wissenschaftlich klingende“ Antworten falsch (Impulserhaltung, Energieerhaltung). Es zeigte sich, dass sich meine Schüler von „klingenden Namen“ weniger ablenken ließen.

#### Anmerkung 2:

Man könnte spekulieren, dass die Ergebnisse dieser Umfrage nur deshalb keine gewichtigen Unterschiede hervorbringen, weil ich mich mit einem unerfahrenen Lehrer verglichen habe. Einige Kollegen werden mutmaßen, dass ihre Schüler bei diesem einfachen Test sicherlich besser abschneiden würden. Ohne diese Mutmaßung in Frage zu stellen, möchte ich die fachlichen und didaktischen Qualitäten meines Kollegen ausdrücklich erwähnen. Die Vergleichsdaten stammen von einem äußerst engagierten Lehrer, der

- mehr als 20 Jahre Berufserfahrung besitzt
- als nationaler Delegierter für Physics on Stage tätig war
- an der Erstellung eines Physiklehrbuchs mitarbeitete.

#### Anmerkung 3:

Mehr als ein Viertel aller Teilnehmer dieser Umfrage erreichen ein FCI – Ergebnis, welches unterhalb eines zufällig ausgefüllten Tests liegt.

In Zahlen: 28% aller Teilnehmer können lediglich 5 oder weniger Fragen des FCI – Tests richtig beantworten.

Ich führe diesen Umstand darauf zurück, dass zumeist eine Antwortmöglichkeit auf übliche – aber falsche – naturwissenschaftliche Vorurteile aufbaut.

### **Schlussfolgerung:**

Die FCI – Testergebnisauswertung zeigte, dass meine Schüler bei einer fachlichen Überprüfung der Newtonschen Mechanik schlechter abschneiden als die Schüler meines Kollegen. Meine Schüler konnten im Durchschnitt 6,6 Fragen von 29 Fragen richtig beantworten, die Schüler meines Kollegen konnten 9 Fragen von 29 Fragen richtig beantworten. Dieser Unterschied verliert jedoch in Anbetracht des Schwellwertes für ein Newtonsches Verständnis (17 richtige Antworten von insgesamt 29 Fragen) an Bedeutung. Nicht einmal die besten Schüler in beiden Populationen erreichten diese Eintrittsschwelle für Newtonsches Denken.

Ich gebe zu bedenken, dass die Aussagekraft des FCI – Tests in der Fachwelt umstritten ist. Dies gilt meiner Meinung nach in verstärktem Maße für die deutsche Übersetzung des FCI – Tests. Einzelinterviews mit Schülern meiner Klasse im Anschluss an die FCI – Datenauswertung deckten sich nur teilweise mit den Ergebnissen der FCI – Umfrage. Leider ist aber gutes Material für die Vermessung des Schülerverständnisses Mangelware. Neue Leistungsfeststellungsmethoden sind erforderlich. Eine erfolgversprechende Methode nennt sich Con-Map<sup>49</sup>. Diese Methode überprüft die Vernetzung der Verständnisstruktur mit Hilfe von Begriff – Assoziationen. Vergleichbare deutschsprachige Evaluierungsinstrumente sind mir nicht bekannt.

Die Ergebnisse meiner FCI – Umfrage gliedern sich in eine Reihe von Arbeiten<sup>50</sup> auf dem Gebiet der Fachdidaktik Physik ein, welche zeigten, dass der Unterricht nicht in der Lage ist, die persönlichen Erklärungen eines Großteils der Schüler nachhaltig zu verändern – ungeachtet der Fähigkeit dieser Schüler, physikalisch anmutende Sätze und Formeln aufzusagen. Der Anspruch, Newtonsches Denken bei den Schülern zu erreichen, stellt eine beachtliche Herausforderung dar.

## 2.3 Belegstück III: Ansichten der Schüler rund um die Physik

Dieser Test sollte den Schülern die Möglichkeit bieten, über den Prozess der Erkenntnisgewinnung in Zusammenhang mit dem Physikunterricht zu reflektieren. Diese Aufgabe ist nicht einfach, da viele Schüler bemerkenswert schizophren agieren, sobald das Thema „Lernen“ – und insbesondere „auswendig Lernen“ – angesprochen wird. Meine Erfahrungen als Nachhilfelehrer für Physik zeigten mir deutlich, welche Inhalte die Schüler für relevant erachten. Zitat eines Nachhilfeschülers: „Können sie mir zu jedem von diesen Diagrammen einen Satz diktieren, den ich bei der Prüfung dann sagen kann.“ Ich musste feststellen, dass sich viele Schüler vom Nachhilfeunterricht sanktionierte Standardantworten und Hinweise auf die „wirklich wichtigen“ Formeln erwarten. Die Sorge um ein tiefgreifendes Verständnis war für die meisten meiner Nachhilfeschüler nicht einmal latent vorhanden. Um das Ausmaß der Epidemie zu prüfen, könnte man der gesamten Klasse die folgende Frage vorlegen:

Der Physikunterricht verlangt vor allem auswendig gelerntes Wissen. Stimmst du dieser Aussage zu?

Da sehr viele Physiklehrer über die Verwerflichkeit von auswendig gelernten Inhalten referieren, ist vielen Schülern bewusst, welche Antwort sich der Lehrer von einem denkenden Schüler erwarten würde. Es wäre verständlich, wenn ein Großteil der Schüler in schizophrener Manier und entgegen ihrer Lernpraxis die obige Frage verneinen würde, und somit offiziell und auf einer intellektuellen Ebene dem Auswendiglernen abschwören. Das Lernverhalten von Schülern und Studenten wird in Arbeiten von D. Hammer<sup>51, 52, 53</sup> und A. Elby<sup>54, 55, 56</sup> beleuchtet. Weiterführende Untersuchungen zum Thema „persönliche Lernstrategien von Schülern“ findet man bei E. Redish<sup>57, 58, 59, 60</sup>. Es erscheint mir unerlässlich, dass Forschungsarbeiten rund um die epistemologische Dimension des Physikunterrichts insbesondere von Leuten durchgeführt werden, deren Fachwissen auf dem Gebiet der Physik angesiedelt ist. Die Auseinandersetzung mit dem Prozess der Erkenntnisgewinnung in Zusammenhang mit der Physik ist zu wichtig, als dass man diese Angelegenheit Forschern überlassen könnte, deren Berufsfeld außerhalb der Fachdidaktik Physik liegt.

### 2.3.1 Schülerbefragung

In der zweiten Hälfte des Schuljahres 2002/03 befragte ich Schüler über ihre Meinung rund um die Erkenntnisgewinnung im Unterrichtsfach Physik. Für diese Befragung teilte ich jenen Schülern, die mir bereits für die fachliche Überprüfung (FCI – Kapitel 2.2) zur Verfügung standen, einen Fragebogen aus. Es sollte sich zeigen, ob die Antworten der Schüler durch den erlebten Unterricht beeinflusst werden. Hierzu wählte ich von drei bekannten Fragebögen, die in der Fachdidaktik Physik gut etabliert sind, einige Fragen aus. Im Folgendem führe ich diese drei Vorlagen an:

- I) **VASS (Views About Sciences Survey)** von Ibrahim Halloun und David Hestenes:  
Dieser Test umfasst 31 Fragen zur Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften und das persönliche Lernverhalten der Schüler im Physikunterricht. Informationen über die Zusammenstellung und Auswertung dieses Tests findet man in Arbeiten von Ibrahim Halloun<sup>61, 62</sup>. Der vollständige Test ist über das Internet verfügbar (Internetadresse des „Modeling Instruction“ Programms der Arizona State University<sup>63</sup>).
- II) **MPEX (Maryland Physics Expectation survey)** von E. F. Redish *et al.*'s:  
Dieser Test überprüft insbesondere die Einstellungen der Studenten zum Physikunterricht. Im Original umfasst der Test 34 Fragestellungen (MPEX Version 4.0). Der vollständige Test ist über das Internet verfügbar (Internetadresse der „Physics Education Research Group“ an der University of Maryland<sup>64</sup>).
- III) **EBAPS (Epistemological Beliefs Assessment for Physics Science)** von A. Elby *et al.*'s:  
Der Test umfasst 30 Fragestellungen (EBAPS Version 5.0) in Zusammenhang mit Aspekten der Erkenntnisgewinnung in der Physik. Der vollständige Test ist über das Internet verfügbar (Internetadresse des „Department of Physics“ der University of Maryland<sup>65</sup>).

Ich wählte von diesen Vorlagen insgesamt 18 Fragen aus und verfasste eine deutsche Übersetzung für diese Fragen. Im Gegensatz zu den Originalen wurden die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten eingeschränkt (größtenteils erachtete ich eine weitgehende Zustimmung zu einer Aussage im Gegensatz zu einer weitgehenden Ablehnung einer Aussage als ausreichend). Der von mir verwendete Test ist im Anhang C dieser Arbeit angefügt. Ebenso findet man im Anhang C eine Auflösungstabelle, welche für mich wünschenswerte Verhältnisse widerspiegelt. Die Auswertung der Schülerarbeiten erfolgte in Abstimmung mit diesem „Referenz-Test“.

### 2.3.2 Die Ergebnisse der Befragung

Die Daten werden in mehreren Tabellen erfasst. Die erste Zeile der Tabelle gibt Auskunft über die Nummer der Frage (Frage 1 bis Frage 18). Die erste Spalte der Tabelle gibt Auskunft über den Schüler (jeder Schüler wird durch eine Zahl repräsentiert). Die einzelnen Felder der Tabelle geben Auskunft über die Übereinstimmung mit dem Referenztest (die Auflösungstabelle für diesen Referenztest ist im Anhang C abgedruckt): Übereinstimmungen sind durch die Ziffer 1 gekennzeichnet (entspricht der „richtigen“ Antwort). Ist keine Übereinstimmung gegeben, so ist das entsprechende Feld durch die Ziffer 0 gekennzeichnet (entspricht der „falschen“ Antwort).

Die Abbildung erläutert die Darstellung der „Lernperspektiven“ der Schüler:

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	1	1	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	1	0
6	0	0	0	1	0	0	1	1
7	0	1	0	1	0	0	1	1

Aussage: Die Frage # 4 des Tests wurde vom Schüler # 3 in Übereinstimmung mit dem Referenztest beantwortet.

Abbildung 7: Ausschnitt aus der Ergebnistabelle.

Die Test – Ergebnisse für die Schüler des Kollegen:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1
2	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1
3	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1
4	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1
5	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
6	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
7	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
8	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
9	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
10	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
11	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
12	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
13	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1
14	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0
15	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
16	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1

17	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
18	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
20	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
21	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
22	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
23	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0
25	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
26	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
27	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
28	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
29	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabelle 9: Die Testergebnisse für die Schüler meines Kollegen.

Schüler mit den Nummern 1 bis einschließlich 16 (erste Spalte der obigen Tabelle) stammen aus dem ersten Klassenverband, Schüler mit den Nummern 17 bis 29 stammen aus dem zweiten Klassenverband.

#### Die Test – Ergebnisse für meine Schüler:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
5	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
7	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
9	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
10	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
12	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
14	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
15	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
16	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1
18	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
19	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
20	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
21	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1
22	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

Tabelle 10: Die Testergebnisse für meine Schüler.

### 2.3.3 Die Auswertung der Test – Daten

#### 2.3.3.1 Wie viele Schüler konnten eine bestimmte Frage des Tests wünschenswert beantworten?

Hierzu berechnete ich den prozentuellen Anteil jener Schüler, deren Antwort auf die Frage mit der Nummer  $N$  in Übereinstimmung mit der Antwort des Referenztests war.

$$p_N[\%] = \frac{\text{Anzahl der Schüler, deren Antwort auf die Frage mit der Nummer } N \text{ wünschenswert ist}}{\text{Gesamtanzahl der Schüler}} \cdot 100$$

#### A) Wie viele Schüler meines Kollegen konnten eine bestimmte Aufgabe des Tests wünschenswert beantworten?

$$\text{Gesamtanzahl der Schüler} = 16 + 13 = 29$$

Ergebnis:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
p [%]	14	72	45	59	45	66	28	62	10	52	79	41	72	66	69	55	79	97

Tabelle 11: Wünschenswert beantwortete Testfragen für die Schüler meines Kollegen.

Erläuterung der Aussagekraft der obigen Tabelle an Hand einer willkürlich gewählten Spalte:

Die Testfrage mit der Nummer 7 konnten 28% der Schüler meines Kollegen wünschenswert beantworten.

#### B) Wie viele von meinen Schülern konnten eine bestimmte Aufgabe des Tests wünschenswert beantworten?

$$\text{Gesamtanzahl der Schüler} = 24$$

Ergebnis:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
p [%]	67	79	42	92	75	79	75	83	67	100	96	71	100	96	96	63	75	88

Tabelle 12: Wünschenswert beantwortete Testfragen für meine Schüler.

Erläuterung der Aussagekraft der obigen Tabelle an Hand einer willkürlich gewählten Spalte:

Die Testfrage mit der Nummer 7 konnten 75% meiner Schüler wünschenswert beantworten.

### Gegenüberstellung:

Anteil der Schüler meines Kollegen, deren Antwort zu einer gegebenen Testfrage wünschenswert ist vs. Anteil meiner Schüler, deren Antwort zu dieser Frage wünschenswert ist.

Hierzu wurden die Ergebnisse in den beiden Tabellen der Auswertung (Tabelle 11 und Tabelle 12) in einem Diagramm dargestellt:

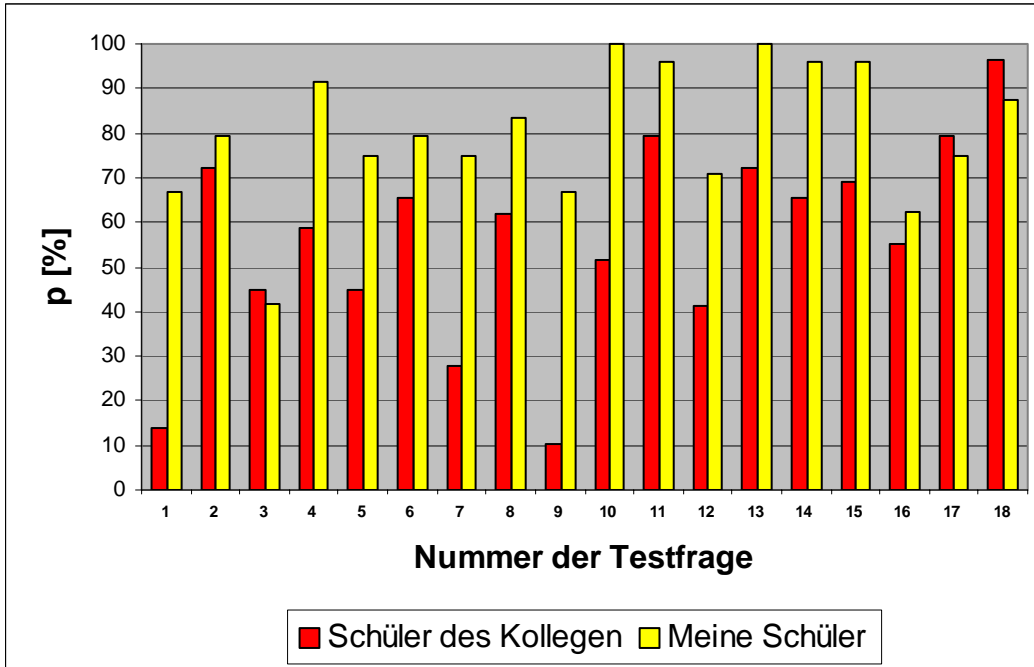


Abbildung 8: Wie viel Prozent der Schüler konnten eine bestimmte Testfrage (Nr. 1 bis Nr. 18) wünschenswert beantworten?

Erläuterung der Aussagekraft des obigen Diagramms an Hand eines willkürlich gewählten Datensatzes:

Die Testfrage mit der Nummer 12 konnten 41% der Schüler meines Kollegen wünschenswert beantworten, dieselbe Frage konnten 71% meiner Schüler wünschenswert beantworten.

Um den Unterschied in den Testergebnissen (für meine Schüler gegenüber den Schülern meines Kollegen) noch deutlicher darzustellen, stellte ich die Differenz der Balkenlängen des obigen Diagramms (Abbildung 8) graphisch dar:

*Balkendifferenz = Balkenlänge für die Schüler meines Kollegen - Balkenlänge für meine Schüler*

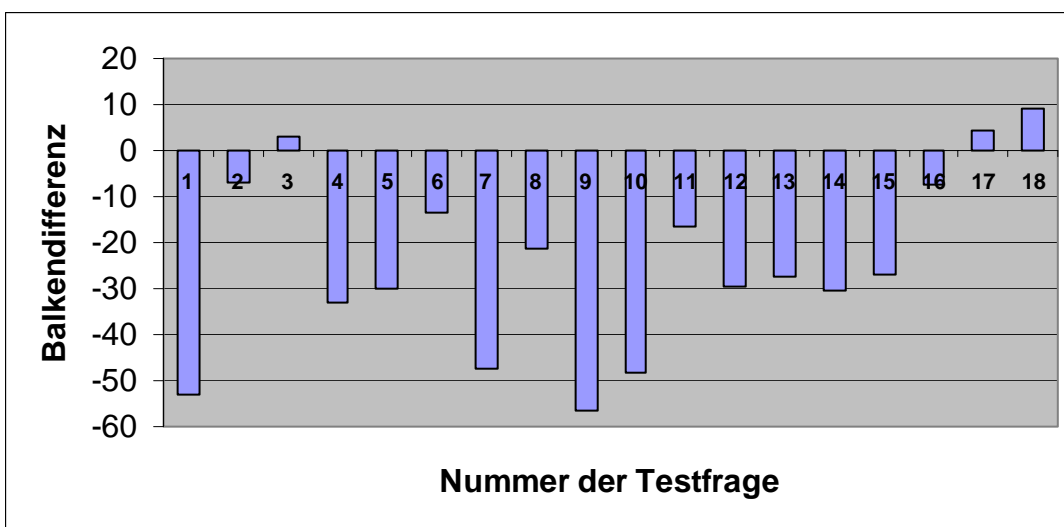


Abbildung 9: Der Unterschied in der wünschenswerten Beantwortung einer Testfrage für die beiden Populationen (meine Schüler vs. die

Schüler meines Kollegen).

Erläuterung der Aussagekraft des obigen Diagramms (Abbildung 9):

Negative Werte: Der prozentuelle Anteil jener Schüler, deren Antwort zu einer gegebenen Frage wünschenswert war, ist in meiner Klasse größer, als der entsprechende Anteil der Schüler in den Klassen, die mein Kollege unterrichtet hat.

Positive Werte: Der prozentuelle Anteil jener Schüler, deren Antwort zu einer gegebenen Frage wünschenswert war, ist in meiner Klasse kleiner, als der entsprechende Anteil der Schüler in den Klassen, die mein Kollege unterrichtet hat.

### 2.3.3.2 Wie viele Schüler konnten den Test zufriedenstellend beantworten?

Die folgenden Tabellen liefern die Anzahl der richtig beantworteten Fragen für jeden Schüler (der Test besteht aus insgesamt 18 Fragen). Die Schüler wurden fortlaufend durchnummeriert.

$S - Nr.$  = Schülernummer

$N$  = Anzahl der wünschenswert beantworteten Fragen

#### A) Anzahl der wünschenswert beantworteten Fragen für die Schüler meines Kollegen:

S-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
N	10	10	12	13	10	12	7	8	9	14	12	13	12	11	13	8	7	9	3	11	7	12	11	6	8	15	10	5	15

Tabelle 13: Anzahl der wünschenswert beantworteten Fragen für die Schüler meines Kollegen.

Erläuterung der Aussagekraft der obigen Tabelle an Hand einer willkürlich gewählten Spalte der Tabelle: Der Schüler meines Kollegen mit der Nummer 24 konnte 6 Fragen (von insgesamt 18 Fragen) wünschenswert beantworten.

Das Minimum an wünschenswert beantworteten Fragen erreichte ein Schüler mit nur 3 „Richtigen“ von insgesamt 18 Fragen. Das Maximum an wünschenswert beantworteten Fragen erreichten zwei Schüler mit 15 „Richtigen“ (von insgesamt 18 Fragen).

Der durchschnittliche Schüler meines Kollegen:

$$\text{Durchschnittswert an wünschenswerten Antworten} = \frac{\sum_{i \in \text{Menge der Schüler}} \text{Anzahl der wünschenswerten Antworten des } i\text{-ten Schülers}}{\text{Gesamtanzahl der Schüler}}$$

$$\text{Gesamtanzahl der Schüler} = 16 + 13 = 29$$

Durchschnittswert der wünschenswerten Antworten = 10,1

Der durchschnittliche Schüler meines Kollegen konnte 10,1 von insgesamt 18 Fragen wünschenswert beantworten.

#### B) Anzahl der wünschenswert beantworteten Fragen für die Schüler aus meiner Klasse:

S-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	14	16	15	16	12	14	16	11	15	14	16	12	17	13	13	16	11	13	15	16	13	16	16	16

Tabelle 14: Anzahl der wünschenswert beantworteten Fragen für meine Schüler.

Erläuterung der Aussagekraft der obigen Tabelle an Hand einer willkürlich gewählten Spalte der Tabelle: Mein Schüler mit der Nummer 24 konnte 16 Fragen (von insgesamt 18 Fragen) wünschenswert beantworten.

Das Minimum an wünschenswert beantworteten Fragen erreichte ein Schüler mit 11 „Richtigen“ von insgesamt 18 Fragen. Das Maximum an wünschenswert beantworteten Fragen erreichte ein Schüler mit 17 „Richtigen“ (von insgesamt 18 Fragen).

Der durchschnittliche Schüler aus meiner Klasse:

Durchschnittswert der richtigen Antworten = 14,4

Der durchschnittliche Schüler aus meiner Klasse konnte 14,4 von insgesamt 18 Fragen wünschenswert beantworten.

### Gegenüberstellung:

Die folgenden Diagramme zeigen den Anteil der wünschenswert beantworteten Fragen (in grüner Farbe) für das schlechteste, das beste und das durchschnittliche Testergebnis für Schüler aus meiner Klasse und für Schüler aus den Klassen meines Kollegen:

#### Das mangelhafteste Testergebnis

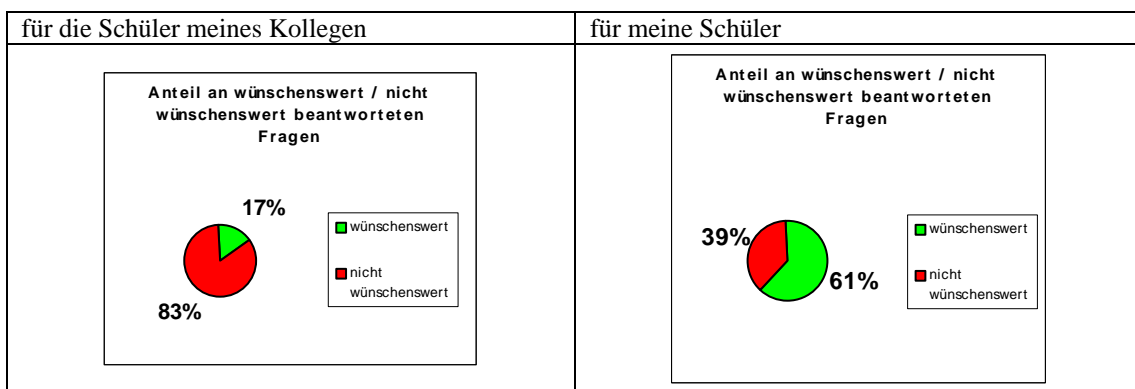


Abbildung 10: Das mangelhafteste Testergebnis für beide Populationen (die Schüler meines Kollegen vs. meine Schüler).

#### Das beste Testergebnis

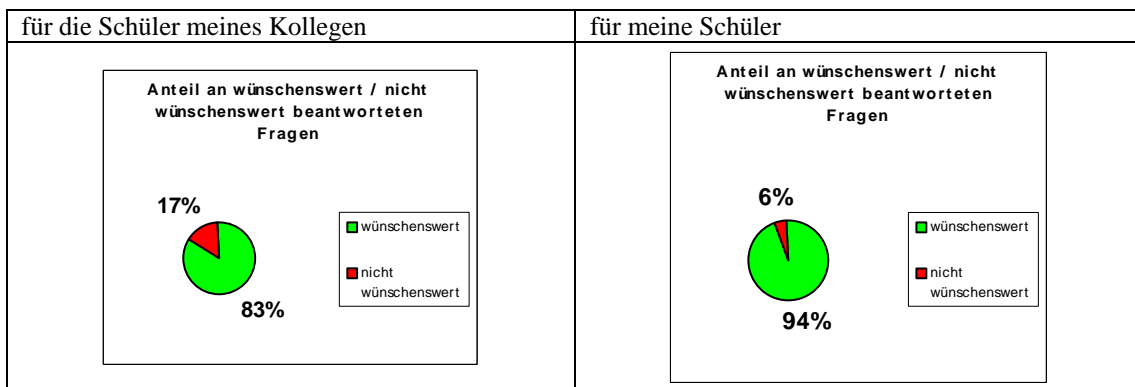


Abbildung 11: Das beste Testergebnis für beide Populationen (die Schüler meines Kollegen vs. meine Schüler).



## Das durchschnittliche Testergebnis

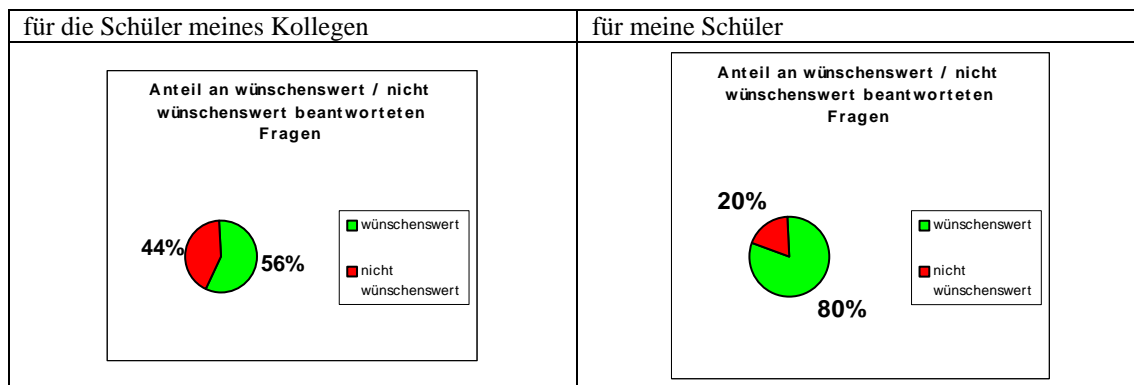


Abbildung 12: Das durchschnittliche Testergebnis für beide Populationen (die Schüler meines Kollegen vs. meine Schüler).

Anmerkung: Vier Schüler genießen die Vorteile beider Unterrichtsstile (diese Schüler wurden von meinem Kollegen im Rahmen des regulären Physikunterrichts unterrichtet und von mir im Rahmen des Wahlpflichtfaches Physik). Bei der Auswertung wurden deren Testergebnisse meinem Kollegen zugeordnet. Da die Testergebnisse dieser vier Schüler überdurchschnittlich gut ausgefallen sind, wird die Auswertung des Datenmaterials zu Gunsten meines Kollegen verändert.

## 2.4 Belegstück IV: Externer Unterrichtsbeobachter

Mein Unterricht wurde über das gesamte Schuljahr (2002 / 03) von F. Kroath der Universität Innsbruck, Institut für LehrerInnenbildung und Schulforschung beobachtet. Sein Abschlussbericht gestattet einen weiteren Einblick in meine Unterrichtsmethode und ist im Anhang D zu finden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Meine Unterrichtsmethode sollte eine reflektierende und nachdenkende Arbeitshaltung der Schüler begünstigen. Um dieses Ziel zu erreichen, führte ich mit kleinen Schülergruppen ausführliche Fachdiskussionen während der Unterrichtsstunde. Die Auswertung der Testergebnisse zeigte mir, dass die Schüler eine naturwissenschaftliche Betrachtungsweise erlangten (Abbildung 12), wenn auch festzuhalten ist, dass der Unterricht die Schüler nicht zu Newton'schem Denken befähigt (Tabelle 7). Da aber auch der Referenzklasse eines – meines Erachtens – hervorragenden Kollegen eine Newton'sche Sichtweise fremd war, stelle ich provokativ in Frage, ob der Physikunterricht diesem hehrem Ideal um jeden Preis nachrennen sollte. Denn ein auswendig gelerntes „Newton 3 Fragment“ mag einem Schüler zu einer guten Note (und in einigen Fällen auch zu einem besseren FCI-Resultat – siehe meine Anmerkungen zum FCI-Test im Kapitel 2.2.4) verhelfen, und trotzdem der (aristotelischen) Denkweise des Schülers keinen Abbruch tun:

Denn was man Schwarz auf Weiß besitzt,  
kann man getrost nach Hause tragen.  
*spricht der Schüler in Goethes Faust*

Fehlt leider nur das geistige Band!  
**Mephistopheles in Goethes Faust**

## ANHANG A:

PHYSICS FOR FUN:	<b>1</b>
KATEGORIE:	<b>C</b>
THEMA:	<b>Flüssigkeiten</b>
TITEL:	<b>Kartonverschluss</b>

### Beschreibung:

Ein Trinkglas wird mit Wasser voll gefüllt. Anschließend hält man die Öffnung des Glases mit einem Stück Karton zu und dreht das Glas um. Man kann die Abdeckung loslassen und das Wasser sollte dennoch nicht ausströmen.

### Gemeinheit:

Man kann das Wasserglas hierbei über den eigenen Kopf oder über den Kopf eines Schülers halten. Welchen Kopf man auswählt hängt unter anderem auch von den möglichen Variationen des Experimentes (Karton versus Zeitungspapier) ab.

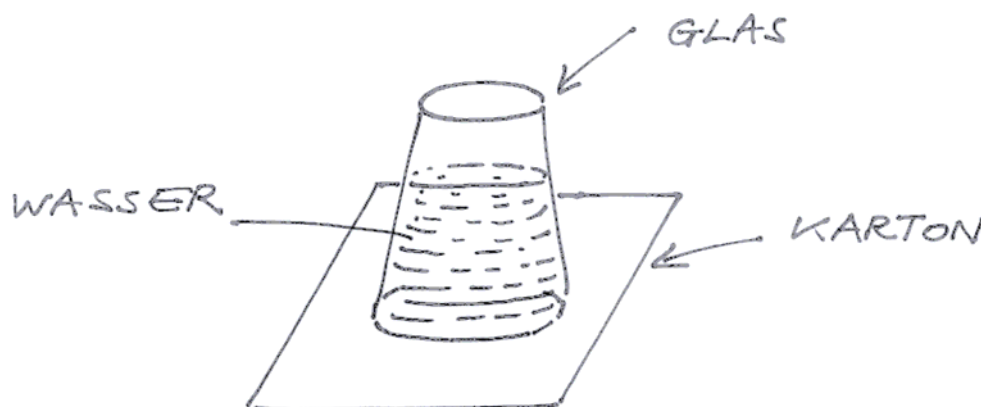
### Herausforderung:

- Funktioniert dieser „Trick“ auch mit einem halb vollen Wasserglas?
- Kann man für die Abdeckung anstelle des Kartons auch Alufolie verwenden?
- Kann man das umgedrehte Glas wieder langsam in die Ausgangslage zurückdrehen, ohne den Kartondeckel mit der Hand zu unterstützen?

### Provokation:

Es überrascht viele Schüler, dass der Karton auch dann anhaftet, wenn das Glas nur zur Hälfte gefüllt wurde. Im Sinne einer provozierenden Dialektik könnte man vor der Durchführung des Experimentes dieses Vorurteil der Schüler noch verstärken, indem man darauf hinweist, dass man wohl mit gutem Grund annehmen darf, dass der Luftdruck im Inneren des Glases gleich groß ist wie der Luftdruck außerhalb des Glases.

### Skizze:



PHYSICS FOR FUN:	<b>2</b>
KATEGORIE:	<b>D</b>
THEMA:	<b>Flüssigkeiten</b>
TITEL:	<b>Fliegengitter</b>

#### Beschreibung:

Vorbereitung: Man „verschließt“ ein Wasserglas mit einem Fliegengitter, indem man ein passendes Stück Fliegengitter an der Glasöffnung einklebt. Das von mir hierzu verwendete Wasserglas hat einen Öffnungsdurchmesser von 8 cm, ein einzelnes Drahtsegment im Fliegengitter umspannt eine quadratische Öffnung von  $(1,5 \text{ mm})^2$ . Durchführung: Man füllt das Glas mit Wasser, bis der Wasserspiegel das eingeklebte Fliegengitter erreicht. Anschließend hält man die Öffnung des Glases mit einem Stück Karton zu und dreht das Glas um. Nun kann man den Karton wegziehen und das Wasser bleibt aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers dennoch im Glas.

#### Gemeinheit:

Schüttet man das Wasser beim Einfüllen des Glases gemächlich durch das Fliegengitter, so fällt den Schülern das Fliegengitter nicht auf. Wenig begeistert würden die Schüler nun erwarten, dass der Lehrer das Experiment mit dem umgedrehten Wasserglas, welches durch einen Karton verschlossen wurde, durchführen möchte. Anschließend schiebt man vor staunenden Schülern den Kartondeckel zur Seite.

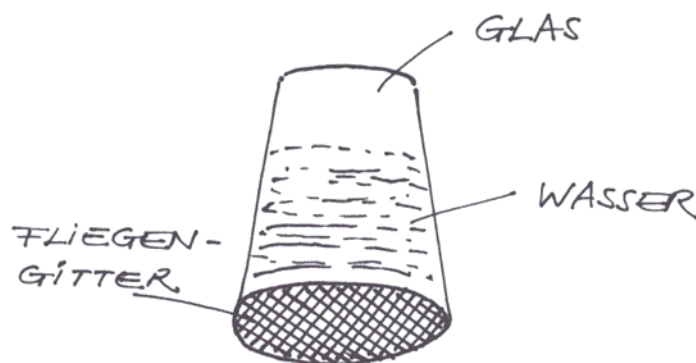
#### Herausforderung:

- Funktioniert dieser „Trick“ mit einem halb vollen Glas?
- Kann man das umgedrehte Glas langsam in die Ausgangslage zurückdrehen, ohne hierzu einen Kartondeckel zu verwenden?

#### Provokation:

Warum funktioniert das Experiment nicht, wenn man das Glas anstelle der 180 Grad Drehung nur um 90 Grad dreht?

#### Skizze:



## ANHANG B:

Der deutschsprachige FCI – Test von H. Schecker und J. Gerdes der Universität Bremen liegt im pdf-Dateienformat (Adobe Acrobat Document) vor und konnte von mir nicht in die vorliegende Arbeit eingefügt werden. Der Test wird als Anhang an diese Arbeit eingereicht:

Dateiname des FCI – Tests: **Fci\_3\_1.pdf**

Größe: 87 KB

Zusätzlich ist der Test im Internet unter der folgenden Adresse verfügbar:

[http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/download/Fci\\_3\\_1.pdf](http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/download/Fci_3_1.pdf)

## ANHANG C:

Im Folgenden findest du eine Liste von Aussagen rund um die Physik. Kennzeichne für jede Aussage (mit einem Kreuz) deine Ansicht, so dass die Bewertung der jeweiligen Aussage deine Meinung am besten zum Ausdruck bringt.

<b>1</b>	<p>Eine Physikaufgabe zu lösen heißt, dass man für das gegebene Problem die passenden Fakten und Gleichungen findet und in diese Gleichungen gegebene Werte einsetzt, um eine Zahl zu erhalten.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>2</b>	<p>Die physikalischen Gesetze haben wenig zu tun mit dem, was ich in der realen Welt erfahre.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>3</b>	<p>Das Wissen in der Physik besteht aus vielen einzelnen Stücken, wobei jede einzelne Information eigentlich zu einer spezifischen Situation gehört.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>4</b>	<p>Nur sehr wenige und speziell qualifizierte Leute sind in der Lage die Physik wirklich zu verstehen.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>5</b>	<p>Physik gefällt mir!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>6</b>	<p>Um die Physik zu verstehen, denke ich manchmal über meine persönlichen Erfahrungen nach und verknüpfe diese Überlegungen mit dem jeweiligen Gebiet in der Physik.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>

<b>7</b>	<p>Die Bewältigung einer physikalischen Aufgabe erfordert es, dass man eine Gleichung findet, die bekannte und unbekannte Größen in einer Formel vereint.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>8</b>	<p>Für die Mitarbeit in der Physikstunde ist es nicht wichtig, ob ich über die Verbindung zwischen den Aussagen in der Physikstunde und der Physik in der Welt außerhalb des Klassenzimmers nachdenke.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>9</b>	<p>Eines der Hauptprobleme des Physikunterrichts liegt darin, dass man sich alle Informationen, die man wissen sollte, nicht merken kann.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>10</b>	<p>Der Physikunterricht überfordert mich.</p> <p><input type="checkbox"/> Ja</p> <p><input type="checkbox"/> Nein</p>
<b>11</b>	<p>In der Physik versteht man etwas entweder sofort oder überhaupt nicht.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>12</b>	<p>Häufig ergibt eine Aussage in der Physik überhaupt keinen Sinn. In diesen Fällen ist es am besten, wenn man die Sache einfach akzeptiert und sich klar macht, dass nicht alles in der Physik auch wirklich Sinn machen muss.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
<b>13</b>	<p>Im Unterrichtsfach Physik ist es wichtig, dass man die dargebotenen Antworten mit den eigenen Vorstellungen vergleicht, damit man den Stoff besser versteht.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>

14	<p>Für ein gutes Verständnis der Physik sind die Formeln (Gleichungen) das Wichtigste. Der Rest ist im wesentlichen nur eine Art Hilfestellung, damit man weiß, welche Formel man für eine konkrete Problematik verwenden muss.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu!</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</p>
15	<p>Wie hilfreich sind Fragen der folgenden Art für jemanden, der Physik lernen möchte?</p> <p>Zwei Kinder wollen ein Seil zerreißen. Sollte jedes Kind an einem Ende des Seils ziehen, oder wäre es besser, wenn sie ein Ende des Seils an einer Mauer befestigen und am anderen Ende gemeinsam ziehen?</p> <p><input type="checkbox"/> Fragen dieser Art sind hilfreich.</p> <p><input type="checkbox"/> Fragen dieser Art sind nicht hilfreich.</p>
16	<p>Warum haben Wissenschaftler Probleme manche Sachen genau zu erklären? Warum zum Beispiel lassen sich Gewitterstürme nicht genau vorhersagen?</p> <p><input type="checkbox"/> Obwohl Phänomene wie Gewitterstürme sich nach bestimmten Gesetzen entwickeln, sind diese Gesetze meist sehr kompliziert, schwer anwendbar und zum Teil auch nicht vollständig bekannt.</p> <p><input type="checkbox"/> Manche Dinge wie zum Beispiel Gewitter halten sich einfach nicht an physikalische Gesetze. Dass jemand in einer Menschenmenge plötzlich zum Amokläufer wird lässt sich ja auch nicht vorausberechnen.</p>
17	<p>Tom und Nina unterhalten sich:</p> <p><i>Tom:</i> Einige Wissenschaftler denken, dass Vulkanausbrüche auf der Erde für das Aussterben der Dinosaurier ausschlaggebend waren, andere Wissenschaftler führen das Aussterben der Dinosaurier auf einen Asteroideneinschlag auf der Erde zurück. Warum können sich die Wissenschaftler in dieser Frage nicht einigen?</p> <p><i>Nina:</i> Vielleicht unterstützt das Beweismaterial beide Theorien. Häufig gibt es mehr als nur eine Möglichkeit die Fakten zu interpretieren.</p> <p><i>Tom:</i> Da wäre ich mir nicht so sicher. In Fragen der Mode und Sympathien können die Geschmäcker und Meinungen verschieden sein, aber in der Wissenschaft müssten die Fakten für sich sprechen.</p> <p><input type="checkbox"/> Ich stimme fast gänzlich Tom zu.</p> <p><input type="checkbox"/> Im wesentlichen hat Nina recht.</p>
18	<p>Der Physikunterricht unterfordert mich.</p> <p><input type="checkbox"/> Trifft zu! <span style="float: right;"><input type="checkbox"/> Trifft nicht zu!</span></p>



Auflösungstabelle:

Frage	Antwort	Frage	Antwort
1	Trifft nicht zu	10	Trifft nicht zu
2	Trifft nicht zu	11	Trifft nicht zu
3	Trifft nicht zu	12	Trifft nicht zu
4	Trifft nicht zu	13	Trifft zu
5	Trifft zu	14	Trifft nicht zu
6	Trifft zu	15	... sind hilfreich
7	Trifft nicht zu	16	Obwohl Phänomene wie ...
8	Trifft nicht zu	17	Nina hat recht
9	Trifft nicht zu	18	Trifft nicht zu

## ANHANG D:

Franz Kroath

### Anmerkungen zu einem Aktionsforschungsprozess aus der Sicht des Facilitators

#### 1. Der Weg zur Zusammenarbeit

Meine eher flüchtige Bekanntschaft mit Klaus entstand während seiner Teilnahme am Englischkurs meiner Frau, an dem ich ab und zu mitarbeitete. Bei einer gemeinsamen Fahrt mit der Straßenbahn, in der wir uns zufällig trafen, begann unsere Zusammenarbeit. Klaus lud mich ein, als externer Berater und Facilitator auf Honorarbasis sein Aktionsforschungsprojekt "Physikunterricht als moderierter Dialog" zu begleiten. Meine Tätigkeit als Facilitator begann im Dezember 2001 mit dem ersten Unterrichtsbesuch bei Klaus in der 6. Kl. und dauert bereits eineinhalb Jahre an.

#### 2. Zur Rolle des Facilitators

Im Aktionsforschungsansatz wird der Funktion eines Facilitators ("Ermöglichers") große Bedeutung zugemessen, seine Aufgaben und die Gestaltung seiner Rolle sind jedoch nicht klar definiert. Aus der Literatur zu Aktionsforschungsprojekten und aus meinen eigenen Erfahrungen lassen sich folgende Prinzipien für eine erfolgreiche Zusammenarbeit von forschendem Praktiker und Facilitator benennen:

- Der Aufbau einer Vertrauensbasis, getragen durch die gegenseitige Anerkennung der jeweiligen professionellen Rollen und durch das Befolgen von ethischen Regeln wie, Vertraulichkeit und Eigentumsrecht auf erzeugte Daten ("ownership of data").
- Die Kontrolle des Forschungsprozesses durch den forschenden Praktiker. Dieser bestimmt auch Zeitpunkt, Dauer und Art der Intervention und der Unterstützungsleistungen des Facilitators.
- Die Loslösung des forschenden Praktikers von der Autorität des Facilitators am Ende des Aktionsforschungsprozesses.

Die Rolle des Facilitators ist mit der eines "kritischen Freundes" vergleichbar. Dieser stärkt einerseits das Selbstwertgefühl des forschenden Praktikers, andererseits fordert er ihn durch kritische Fragen heraus, die Gültigkeit von gewonnenen Erkenntnissen in der Praxis zu überprüfen.

In meiner konkreten Arbeit mit Klaus als kritischer Freund habe ich folgende Leistungen erbracht:

##### 2.1 Unterrichtsbesuche

Ich habe auf Wunsch von Klaus dessen Physikstunden besucht und aus der Sicht des externen Beobachters differenzierte Aufzeichnungen zu vorher vereinbarten Beobachtungsschwerpunkten verfasst. Zusätzlich habe ich auch Ereignisse festgehalten, die unerwartet eintraten und mir wichtig erschienen.

##### 2.2 Nachbesprechungen

Jede besuchte Stunde wurde in Form eines kritischen Dialogs nachbesprochen. Anhand von schriftlichen Aufzeichnungen fasste ich meine Beobachtungen zusammen und machte Vorschläge zu Veränderungen bzw. zu nächsten Schritten. Meine Vorschläge waren dabei nur als *mögliche* Strategien, als Gestaltungsideen oder Hypothesen aufzufassen, deren Gültigkeit bzw. Wirkung Klaus erst in der Praxis erproben musste.

Dazu ein Beispiel einer Nachbesprechung vom 3. Dezember 2002:

Resümee:

*"Bin von deinem Unterricht sehr beeindruckt. Du besitzt die Geduld, Schüler eigene Gedankengänge zum Beschreiben und Erklären eines physikalischen Phänomens entwickeln zu lassen. Du bemühst dich durch „sokratische Dialoge“ und durch Ermutigen zu eigenständigen Formulierungen die Schüler zu motivieren, sich auf diese Form des Physikunterrichts einzulassen."*

Veränderungsvorschläge:

- Originelle, divergierende Schülerantworten verstärken

- Bei kontroversiellen Schülerargumenten („*Ich stimme nicht mit Sarah überein...*“), genau überprüfen, ob die Argumentation tatsächlich gegensätzlich ist.
- Schüler könnten mehr Servicefunktionen übernehmen: Mitschreiben von guten Schülerbeiträgen an der Tafel; Mathematisieren und graphische Darstellung eines Phänomens.
- Schüler könnten Schlüsselerfahrungen aus den Experimenten „physics for fun“ – festhalten.
- Schüler sollen kompliziertere, schwierige Gedankengänge auch auf Deutsch formulieren können.
- Wenn es sich ergibt, sollen neue physikalische Begriffe eingeführt und auch auf Englisch benannt werden (z.B. statt *curve trajectory*)
- Die Ergebnisse der Gruppenarbeit sollten von jedem Schüler als für ihn bedeutsames Ergebnis im Heft festgehalten werden

### 2.3 Kurzinterviews mit SchülerInnen

Ich nutzte meine zunehmende Vertrautheit mit den SchülerInnen zu informellen Gesprächen über Stärken und Schwächen von Klaus' Physikunterricht, die ich Klaus entweder mündlich oder in Form von Tonbandaufzeichnungen rückmeldete

## 3. Zur Gesamteinschätzung des Selbsterforschungsprozesses

Die Herausforderung für Klaus bestand darin, seinen Unterricht auf der Basis des "sokratischen Dialogs" so zu inszenieren, dass er den sehr unterschiedlichen Interessen und Fähigkeiten der SchülerInnen Rechnung trägt ("Mixed-interest-teaching"). Er erprobte ein Jahr lang verschiedene Strategien und entwickelte ein für ihn und die SchülerInnen stimmiges und befriedigendes Setting, das sich aus der Sicht eines Beobachters aus folgenden Elementen zusammensetzt:

- "Physics for fun"-Experimente, die gewohnte Erklärungsmuster von physikalischen Phänomenen in Frage stellen und durch Verblüffung neugierig machen
- Sokratische Fragen, die mit Geduld SchülerInnen ermutigen, Phänomene in ihrer eigenen Sprache zu erklären und originelle Fragen zu stellen.
- Freiwillige Mitarbeit - SchülerInnen entscheiden selbst, wann und mit welchem Grad der geistigen Anstrengung sie sich am Unterricht beteiligen wollen.
- Anregende Textaufgaben zu physikalischen Phänomenen, die die Schüler während oder nach der Stunde bearbeiten können.
- Ein Expertengespräch mit ausgewählten SchülerInnen am Lehrertisch vor der Tafel in den letzten fünfzehn Minuten des Unterrichts.

Dazu kommen noch weitere Leistungsvereinbarungen mit den Schülerinnen, die jedoch für einen externen Beobachter direkt im Unterricht nicht beobachtbar sind.

### 3.1 Der Zwei-Welten-Unterricht von Klaus

Die Physikstunden von Klaus würden von zwei Beobachtern, einem mit den Veränderungen vertrauten und einem unvertrauten, unterschiedlich wahrgenommen und interpretiert werden. Escher, der Meister in der Darstellung optischer Täuschungen, würde die Physikstunden als "Zwei-Welten-Unterricht" zeichnen. Die eine Welt, die Oberflächen-Welt, würde sich dem unvertrauten Unterrichtsbesucher so darstellen: Ein engagierter Lehrer hält einen frontalen Physikunterricht in englischer Sprache. Er führt in jeder Stunde ein interessantes physikalisches Experiment durch, dem die Mehrzahl der Schüler mit mehr oder weniger Aufmerksamkeit folgt. Danach stellt der Lehrer zum Teil anspruchsvolle Fragen, an deren Beantwortung nur mehr wenige Schüler interessiert sind. Die meisten Schüler schalten ab, unterhalten sich und beschäftigen sich mit anderen Dingen (sie versenden z.B. SMS-messages). Für empfindliche Ohren ist der Geräuschpegel ziemlich hoch. Der Lehrer fährt unbeindruckt mit seinen Fragen an ein paar interessierte Schüler fort. Gegen Ende der Stunde unterhält sich der Lehrer mit 4-5 Schülern am Lehrerpult. Zuvor hat er ein Arbeitsblatt mit Aufgaben ausgeteilt, das von einigen Schülern bearbeitet wird. Die meisten SchülerInnen packen einige Minuten vorm Läuten ihre Schulsachen ein und warten nur mehr auf das Läuten.

Dem vertrauten Beobachter eröffnet sich neben dieser Oberflächen-Welt aber noch eine zweite Welt "unter-der-Oberfläche". Er beobachtet, dass Schüler, die scheinbar ganz abgeschaltet haben, die sich unterhalten oder sich mit etwas anderem beschäftigen, plötzlich gute, d.h. anspruchsvolle, zum aktuellen Thema passende Fragen

stellen. Sie verhalten sich so, als hätten sie ihre themenspezifische Aufmerksamkeit auf "stand-by" geschaltet um sich so gleichzeitig mit im Augenblick wichtigeren, aber nicht die ganze Aufmerksamkeit beanspruchenden Dingen beschäftigen zu können. Man könnte dieses Phänomen auch mit einem Begriff aus der Computersprache, dem "Multitasking", beschreiben: der Fähigkeit des Computers, gleichzeitig mehrere Aufgaben gleich effizient durchzuführen. In dem Augenblick, in dem etwas von dem vorbeifließendem Unterrichtsgeschehen den Schüler fesselt, ist seine Aufmerksamkeit und Mitarbeitsbereitschaft wieder voll da. Der vertraute Beobachter würde auch beobachten, dass Schüler nach dem Läuten mit dem Lehrer über die Physikstunde weiter diskutieren wollen.

Das von Klaus entwickelte Setting erlaubt es den SchülerInnen selbstverantwortlich zu bestimmen, wann sie mitarbeiten wollen. Gleichzeitig fördert dieses Setting die Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit ohne die eine diskontinuierliche und für die geforderte Leistung erforderliche Mitarbeit nicht möglich wäre.

### 3.2 Zum Erfolg des Aktionsforschungsprozesses

Der Schlüssel zum Erfolg des didaktischen Experiments liegt aus meiner Außensicht in drei Faktoren. Zum einen in der gelassenen, durch nichts zu erschütternden, risikobereiten und experimentierfreudigen Haltung von Klaus gegenüber dem Phänomen "Unterrichten".

Zum zweiten in der guten Lehrer-Schüler-Beziehung, gekennzeichnet durch zwei Voraussetzungen: Klaus hatte Vertrauen in die Reife der Schüler, sein Experiment als vielfältige Lernchance zu nützen und nicht als Gelegenheit zum lockeren, leistungsfreien Unterricht zu missbrauchen. Die Schüler wiederum schätzten Klaus als Mensch und ungewöhnlichen Lehrer, dessen natürliche Autorität nie in Frage gestellt wurde.

Zum Dritten in der Entdeckung des Phänomens des "Multitasking" bzw. der "stand-by-Aufmerksamkeit" der SchülerInnen, die Klaus' Selbstzweifel über die Richtigkeit seines Weges ausräumten und seinen Blick für die "unter-der-Oberflächen-Welt" schärften.

<sup>1</sup> D. Meltzer, "Transforming the lecture-hall environment: The fully interactive physics lecture," *Am. J. Phys.* **70** (6), 639-654, (2002).

<sup>2</sup> Im Text nicht näher spezifizierte Personen erscheinen als ‚männliche Subjekte‘ (Fachdidaktiker, Lehrer, ...), wobei natürlich nie eine Beschränkung auf ein bestimmtes Geschlecht beabsichtigt ist. Der Einfachheit dienlich schreibe ich zum Beispiel stets ‚Lehrer‘ – sinngemäß sind diese Personen selbstverständlich als ‚Lehrerinnen und Lehrer‘ zu lesen.

<sup>3</sup> Martin Gardner, Column Editor, "Physics Trick of the Month", *Phys. Teach.* **40** (5), p 313 (2002).

<sup>4</sup> Susan Cowey, "A First-Year Teacher Implements a Literature-Based/Whole-Language Program in a Fourth-Fifth Grade," in "Constructivism – Theory, Perspectives, and Practice," C. T. Fosnot (Editor), *Teacher College Press*, (1996).

<sup>5</sup> Paul Robinson, "Conceptual Physics Laboratory Manual to accompany Conceptual Physics, Seventh Edition," *Harper Collins College Publishers* (1993).

<sup>6</sup> Karl C. Mamola (Editor), "Apparatus for Teaching Physics," *American Association of Physics Teachers*, (1998).

<sup>7</sup> R. D. Edge, "String & Sticky Tape Experiments," *American Association of Physics Teachers*, (1987).

<sup>8</sup> G. D. Freier and F. J. Anderson, "A Demonstration Handbook for Physics," *American Association of Physics Teachers*, (1996).

<sup>9</sup> Craig F. Bohren, "Clouds in a Glass of Beer – Simple Experiments in Atmospheric Physics," *Dover Publications*, (1987).

<sup>10</sup> Robert Ehrlich, "Turning the World Inside Out and 174 other simple Physics Demonstrations," *Princeton University Press*, (1990).

<sup>11</sup> Robert Ehrlich, "Why Toast Lands Jelly-Side Down," *Princeton University Press*, (1997).

<sup>12</sup> John W. Jewett, "The World of Physics – Mysteries, Magic & Myth," *Harcourt College Publishers*, (2001).

<sup>13</sup> Marshall Brain (Editor), "What If...? – Intriguing Answers for the Insatiably Curious," HowStuffWorks, Inc., *Wiley Publishing* (2002).

<sup>14</sup> Paul G. Hewitt, "Next-Time Questions to accompany Conceptual Physics," *Harper Collins College Publishers*, (1993).

<sup>15</sup> Martin Apolin, „Mechanikpuzzle,“ *öbv & hpt Verlag*, (1999).

<sup>16</sup> Martin Apolin, „Optikpuzzle,“ *öbv & hpt Verlag*, (1999).

<sup>17</sup> Martin Apolin, „Wellenpuzzle,“ *öbv & hpt Verlag*, (2001).

<sup>18</sup> Jearl Walker, "The flying Circus of Physics with Answers," *John Wiley & Sons*, (1977).

<sup>19</sup> Jearl Walker, „Der fliegende Zirkus der Physik – Fragen & Antworten,“ *R. Oldenbourg Verlag*, (1987).

<sup>20</sup> Lewis C. Epstein, "Thinking Physics is Gedanken Physics," *Insight Press*, (1999).

<sup>21</sup> John W. Jewett, "The World of Physics – Mysteries, Magic & Myth," *Harcourt College Publishers*, (2001).

<sup>22</sup> The University of Massachusetts Physics Education Research Group (W. J. Leonard, R. J. Dufresne, W. J. Gerace, J. P. Mestre), "Minds On Physics – Activities & Reader – Motion" *Kendall Hunt Publishing Company*, (1999).

<sup>23</sup> The University of Massachusetts Physics Education Research Group (W. J. Leonard, R. J. Dufresne, W. J. Gerace, J. P. Mestre), "Minds On Physics – Activities & Reader – Interactions" *Kendall Hunt Publishing Company*, (1999).

<sup>24</sup> The University of Massachusetts Physics Education Research Group (W. J. Leonard, R. J. Dufresne, W. J. Gerace, J. P. Mestre), "Minds On Physics – Activities & Reader – Conservation Laws & Concept-Based Problem Solving" *Kendall Hunt Publishing Company*, (1999).

<sup>25</sup> T. L. O’Kuma, D. P. Maloney, and C. J. Hieggelke, "Ranking Task Exercises in Physics," *Prentice Hall*, (2000).

<sup>26</sup> Paul G. Hewitt, "Practicing Physics to accompany Conceptual Physics," *Harper Collins College Publishers*, (1993).

<sup>27</sup> Alan. Van Heuvelen, Paul D’Alessandris, "ActivPhysics 1 (version 1.1) Workbook and CD-ROM, *Addison-Wesley*, (2000).

<sup>28</sup> Alan. Van Heuvelen, Paul D’Alessandris, "ActivPhysics 2 Workbook and CD-ROM, *Addison-Wesley*, (1999).

<sup>29</sup> Lillian C. McDermott, "Physics by Inquiry," *John Wiley & Sons*, (1996).

<sup>30</sup> Arnold B. Arons, "A Guide to Introductory Physics Teaching," *John Wiley & Sons*, (1990).

<sup>31</sup> Louis A. Bloomfield, "How Things Work – The Physics of everyday life," second edition, *John Wiley & Sons*, (2001).

<sup>32</sup> D. Hestenes, M. Wells, and G. Swackhamer, "Force Concept Inventory," *Phys. Teach.* **30** (3), 141-158 (1992).

- <sup>33</sup> D. Hestenes, I. Halloun, "Interpreting the Force Concept Inventory," *Phys. Teach.* **33** (8) (1995).
- <sup>34</sup> I. Halloun, D. Hestenes, "The initial knowledge state of college physics students," *Am. J. Phys.* **53** (11), 1043-1055, (1985).
- <sup>35</sup> I. Halloun, D. Hestenes, "Common sense concepts about motion," *Am. J. Phys.* **53** (11), 1056-1065, (1985).
- <sup>36</sup> D. Hestenes, M. Wells, "A Mechanics Baseline Test," *Phys. Teach.* **30** (4), 159-166 (1992).
- <sup>37</sup> R. R. Hake, "Survey of Test Data for Introductory Mechanics Courses," *AAPT Announcer* **24** (2), 55 (1994).
- <sup>38</sup> R. R. Hake, "Interactive-engagement vs. traditional methods: A six thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses," *Am. J. Phys.* **66**, 64-74 (1998).
- <sup>39</sup> D. Huffman, P. Heller, "What does the Force Concept Inventory actually measure?" *Phys. Teach.* **33** (3), 138-143, (1995).
- <sup>40</sup> D. Hestenes, I. Halloun, "Interpreting the Force Concept Inventory – A response to Huffman and Heller," *Phys. Teach.* **33** (8), 502, 504-506, (1995).
- <sup>41</sup> P. Heller, D. Huffman, "Interpreting the Force Concept Inventory – A reply to Hestenes and Halloun," *Phys. Teach.* **33** (8), 503, 507-511 (1995).
- <sup>42</sup> C. Henderson, "Common Concerns About the Force Concept Inventory," *Phys. Teach.* **40**, 542 (2002).
- <sup>43</sup> Richard Steinberg und Mel Sabella, "Performance on multiple-choice diagnostics and complementary exam problems," *Phys. Teach.* **35**, 150-155 (1997).
- <sup>44</sup> E. Mazur, "Peer Instruction – A User's Manual," *Prentice Hall*, (1997).
- <sup>45</sup> J. Gerdes, H. Schecker: „Der Force Concept Inventory," MNU **52/5**, 283-288 (1999). Die deutschsprachige Version 3.1 des FCI wurde im Internet veröffentlicht und ist unter der Adresse [http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/download/Fci\\_3\\_1.pdf](http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/download/Fci_3_1.pdf) verfügbar. Die deutschsprachige Version des FCI von H. Schecker und J. Gerdes wurde von Bernd Huhn geringfügig verändert, da einige Formulierungen missverständlich aufgefasst werden könnten. Diese abgeänderte Version kann auf Anfrage (zu richten an: [huhn.abfl@t-online.de](mailto:huhn.abfl@t-online.de)) zugeschickt werden. Eine weitere überarbeitete Version des FCI in einer deutschsprachigen Version ist über die Internetseite der Arizona State University / Modeling Instruction Program <http://modeling.la.asu.edu/R&E/Research.html> verfügbar.
- <sup>46</sup> D. Hestenes, I. Halloun, "Interpreting the Force Concept Inventory – A response to Huffman and Heller," *Phys. Teach.* **33** (8), 502, 504-506, (1995).
- <sup>47</sup> R. R. Hake, "Survey of Test Data for Introductory Mechanics Courses," *AAPT Announcer* **24** (2), 55 (1994).
- <sup>48</sup> R. R. Hake, "Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses," *Am. J. Phys.* **66**, 64-74 (1998).
- <sup>49</sup> I. D. Beatty and W. J. Gerace, "Probing physics students' conceptual knowledge structures through term association," *Am. J. Phys.* **70** (7), 750-758 (2002).
- <sup>50</sup> L. McDermott and E. Redish, "Resource Letter PER-1: Physics education research," *Am. J. Phys.* **67** (9), 755-767 (1999).
- <sup>51</sup> D. Hammer, "Two approaches to learning physics," *Phys. Teach.* **27** (9) 664-670 (1989).
- <sup>52</sup> D. Hammer, "Epistemological beliefs in introductory physics," *Cognition and Instruction* **12** (2), 151-183 (1994).
- <sup>53</sup> David Hammer, "More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research," *Am. J. Phys.* **64** (10), 1316-1325 (1996).
- <sup>54</sup> A. Elby, "Another reason that physics students learn by rote," *Am. J. Phys.*, Physics Education Research Supplement, **67** (7 SUPP1), S52-S57 (1999).
- <sup>55</sup> Andrew Elby, "Helping physics students learn how to learn," *Phys. Educ. Res.*, *Am. J. Phys. Suppl.* **69** (7) S54-S64 (2001).
- <sup>56</sup> A. Elby and D. Hammer, "On the substance of a sophisticated epistemology," eine Print – Version dieses Artikels ist zur Zeit nicht verfügbar, der Artikel kann im Internet unter der Adresse [http://www2.physics.umd.edu/~elby/papers/epist\\_substance/Substance.html](http://www2.physics.umd.edu/~elby/papers/epist_substance/Substance.html) abgerufen werden.
- <sup>57</sup> E. F. Redish, J. M. Saul, & R. N. Steinberg, "Student expectations in introductory physics," *Am. J. Phys.* **66** (3), 212-224, (1998).
- <sup>58</sup> E. F. Redish and R. N. Steinberg, "Teaching Physics: Figuring Out What Works," *Physics Today* **52** (January 1999), 24-30 (1999).
- <sup>59</sup> E. F. Redish, "Millikan Award Lecture (1998): Building a Science of Teaching Physics," *Am. J. Phys.* **67**, 562 (1999).
- <sup>60</sup> Edward F. Redish, "The Implications of Cognitive Studies for Teaching Physics," *Am. J. Phys.* **62** (6) 796-803 (1994).
- <sup>61</sup> Ibrahim Halloun, "Views about science and physics achievement. The VASS Story," *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education*. American Institute of Physics Press. College Park, MD (1996).
- <sup>62</sup> Ibrahim Halloun and David Hestenes, "Interpreting VASS Dimensions and Profiles," dieses Paper wurde im Internet veröffentlicht und ist unter der Adresse des „Modeling Instruction“ Programms der Arizona State University <http://modeling.la.asu.edu/R&E/IntrVASS.pdf> abrufbar.
- <sup>63</sup> Internetadresse für den VASS Test. (Um den Test einzusehen, muss man ein Kennwort anfordern.) <http://modeling.la.asu.edu/R&E/Research.html>
- <sup>64</sup> Internetadresse für den MPEX Test: <http://www.physics.umd.edu/perq/expect/ex.htm>
- <sup>65</sup> Internetadresse für den EBAPS Test: <http://www2.physics.umd.edu/~elby/EBAPS/home.htm>